



**PENGARUH VARIASI PERSENTASE VOLUME  
GAS KARBONDIOKSIDA DALAM CAMPURAN PROPANA BUTANA  
PADA TEKANAN 3 BAR DAN TEMPERATUR 273 K TERHADAP  
KARAKTERISTIK HIDRAT**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**REZA NAUFAL AZAMI**

**NIM. 135060207111042-62**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2017**

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebarkan sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dap[at dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 12 Juli 2017

Mahasiswa,

Reza Naufal Azami

NIM. 135060207111042



## JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Variasi Persentase Volume Gas Karbondioksida dalam Campuran Propana Butana pada Tekanan 3 Bar dan Temperatur 273 K Terhadap Karakteristik Hidrat

Nama Mahasiswa : Reza Naufal Azami  
NIM : 135060207111042  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

## KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.  
Dosen Pembimbing 2 : Francisca Gayuh Utami, ST., MT.

## TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Hastono, MT.  
Dosen Penguji 2 : Ir. Erwin Sulistyono, MT.  
Dosen Penguji 3 : Purnami, ST., MT.  
Tanggal Ujian : 7 Juni 2017  
SK Penguji : 645/UN10.6/SK/2017



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis panjatkan kehadapan Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Yang Maha Pengampun, Yang Maha Besar, Yang Maha Kuasa, Yang Maha Cerdas, Yang Maha Memiliki Segala Yang Ada, dan Yang Maha Memberi atas segala taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Variasi Persentasi Volume Gas Karbon Dioksida dalam Campuran Propana Butana pada Tekanan 3 Bar dan Temperatur 273 K terhadap Karakteristik Hidrat" sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Nabi Muhammad Sholallahu Alaihi Wassalam, atas ajaran Beliau mengenai perjuangan, konsistensi, tanggung jawab, kewajiban, kejujuran, amanah dan lainnya yang bermanfaat bagi penulis.
2. Umi dan Abi saya tercinta, Abi Dharmawan dan Umi Esther, yang selalu memberikan kasih sayang, cinta, doa, motivasi, kepercayaan, dan dukungan kepada penulis. Serta selalu mengajarkan dan menasehati saya untuk terus senantiasa dekat dengan Penciptanya, Allah Subhanahu Wa Ta'ala.
3. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan yang telah membantu memberikan pengarahan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Suharto, M.T selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dalam menempuh perkuliahan pada setiap semesternya.
7. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan



yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.

8. Bapak Djoko Sumantri, A. Md. selaku pranata Laboratorium Fenomena Dasar Mesin yang telah meminjamkan tempat dan peralatan yang ada di laboratorium guna memperlancar penyusunan skripsi ini.
9. Adik saya, Mutia Nurul Fatya dan Syaidati Irhamna Yasfa, yang selalu mendukung, mendoakan dan mengajarkan banyak hal selama penulis menuntut ilmu hingga terselesaikan dengan baik.
10. Keluarga besar Abi, dan Keluarga besar Umi, Alm. Kakek Haji Dadang, Mbah Maemunah, Ua Maman, Ua Yayat, Mang Enun, Bi Atik, Bi Aji, Mang Jiji, Alm. Datuk, Eyang Tuty, Om Dicky, Alm. Om Rio, Om Ade dan seluruh anggota keluarga besar, yang selalu mendukung, memotivasi, membangun kepercayaan diri, mendoakan, dan mengajari banyak hal yang baik dan bermanfaat bagi penulis.
11. Keluarga Ibnu Salam Nurul Fikri (KANS), Abid, Khalid, Akmal, Harits, Jaya, Ashma, Fakhri, Dinita, Fathan, Rendy, Sabrina, Wicak, Faiz, Aqil, Azmi, Ismail, Fyta, Hikari, Fathin yang telah menemani, mengajarkan, memotivasi, mendukung serta mendoakan penulis selama belajar di tanah rantau.
12. Keluarga besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Mas Irul, Mas Gede, Mas Januar, Mas Ragang, Mas Indra, Mba Endang, Ayu, Rezza, Bayu, Unggar, Satrio, Bara, TA, Jeki, Putri, Natasha, Moniq, Ilham, Arul, Tiya atas doa, semangat dan dukungannya kepada penulis.
13. Saudara seperjuangan “M13” yang telah menjadi keluarga dan memberikan banyak pelajaran dan nasehat kepada saya. Semoga kita selalu diberi kemudahan, kelancaran dan kekuatan.
14. Saudari Ilham Ayu Putri, Rezza Pratama yang telah membantu dan memberi semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
15. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
16. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.



Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar terciptanya karya tulis yang lebih baik. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Hidrat Gas Alam .....	5
2.3 Struktur Hidrat Gas Alam .....	6
2.3.1 Macam-macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam .....	6
2.3.1.1 Struktur Kubus I .....	8
2.3.1.2 Struktur Kubus II .....	9
2.3.1.3 Struktur Kubus Heksagonal .....	10
2.3.2 Perbedaan Struktur Hidrat Gas Alam Dengan Es .....	10
2.4 Gas Alam .....	11
2.4.1 Gas Butana .....	12
2.4.2 Gas Propana .....	13
2.4.3 <i>Liquified Petroleum Gas</i> .....	13
2.4.4 Gas Karbon Dioksida .....	13
2.5 Pencampuran Gas .....	14
2.5.1 Teori Tekanan Total Gas .....	14
2.5.2 Teori Volume Total Gas .....	14
2.5.3 Campuran Zat .....	15



2.6 Pembentukan Hidrat .....	16
2.7 Pertumbuhan Hidrat .....	18
2.8 Penguraian Hidrat .....	21
2.9 Hidrat Karbon Dioksida .....	22
2.10 Persamaan Gas Ideal .....	26
2.11 Persamaan Gas Nyata .....	28
2.12 Hipotesa .....	33
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>34</b>
3.1 Metode Penelitian .....	34
3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian .....	34
3.3 Variabel Penelitian .....	34
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	35
3.4.1 Bahan Penelitian .....	35
3.4.2 Alat Penelitian .....	37
3.5 Instalasi Alat Penelitian .....	45
3.6 Prosedur Penelitian .....	45
3.6.1 Persiapan Penelitian .....	45
3.6.2 Pengambilan Data .....	45
3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat .....	45
3.6.2.2 Penguraian Hidrat .....	46
3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat .....	46
3.6.2.4 Nilai Mol Gas di Dalam <i>Crystallizer</i> .....	47
3.6.3 Pengolahan Data .....	48
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	49
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>51</b>
4.1 Pengolahan Data .....	51
4.2 Data Hasil Pengujian .....	51
4.3 Contoh Perhitungan .....	54
4.3.1 Laju Pembentukan Campuran Gas Propana Butana + Gas Karbon dioksida .....	54
4.3.2 Kapasitas Penyimpanan Campuran Gas Propana Butana + Gas Karbon dioksida .....	59
4.4 Pembahasan .....	63



4.4.1 Analisa Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana + Karbon dioksida dengan Variasi Persen Volume Karbon Dioksida .....	63
4.4.1.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Temperatur Gas Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat....	63
4.4.1.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Konsumsi Gas dan Waktu Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat.....	64
4.4.2 Analisa Stabilitas Hidrat Propana Butana dengan Variasi Persen Volmue Karbon Dioksida.....	65
4.4.2.1 Analisa Grafik Hubungan Gas Terurai dan Waktu Pada Saat Stabilitas Hidrat.....	65
4.4.3 Analisa Kapasitas Penyimpanan Hidrat Propana Butana dengan Variasi Persen Volume Karbon Dioksida .....	66
4.4.3.1 Analisa Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Pengukuran dan Perhitungan.....	66
4.4.4 Analisa Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis Perhitungan dan Konsumsi Gas Pengukuran Hidrat Pengukuran dengan Waktu .....	68
4.4.4.1 Analisa Grafik Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis Perhitungan dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat Pengukuran dengan Waktu.....	68
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>72</b>
5.1 Kesimpulan .....	72
5.2 Saran .....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Fase Beberapa Gas Alam Hidrokarbon yang Membentuk Hidrat .....	6
Gambar 2.2	Struktur Kristal Hidrat. (a) Struktur Kubus I, (b) Struktur Kubus II, (c) Struktur Heksagonal .....	7
Gambar 2.3	Struktur Kubus I (a) Tetraikaidekahedron (b) Dodekahedron .....	9
Gambar 2.4	Struktur Kubus I (a) Heksakaidekahedron (b) Dodekahedron .....	9
Gambar 2.5	Penyusun Struktur Heksagonal, (a) Dodekahedron, (b) Dodekahedron Tidak Beraturan, (c) Iksahedron Tidak Beraturan .	10
Gambar 2.6	Campuran Gas dan Gas .....	10
Gambar 2.7	Hubungan Antara Waktu Pembentukan dan Konsumsi Gas Pada Pembentukan Hidrat.....	16
Gambar 2.8	Garis Hubungan Tekanan dan Temperatur Pada Hidrat Metana Sederhana .....	17
Gambar 2.9	Mekanisme Pertumbuhan Kristal Hidrat .....	18
Gambar 2.10	Bentuk Kristal Hidrat Tunggal Etilen Oksida .....	20
Gambar 2.11	Bentuk Kristal Hidrat Tunggal Tunggal Tetrahidrofuran .....	20
Gambar 2.12	Disosiasi Radial .....	21
Gambar 2.13	Disosiasi Aksial .....	21
Gambar 2.14	Hubungan Tekanan dengan Persen Mol pada Campuran Karbon dioksida + Propana .....	22
Gambar 2.15	Hubungan Tekanan dengan Persen Mol pada Campuran Karbon dioksida + Normal Butana .....	22
Gambar 2.16	Hubungan Temperatur dengan Jumlah Mol yang Terbentuk Hidrat Karbon dioksida .....	22
Gambar 2.17	Equilibrium Hidrat dari Campuran Gas Karbon dioksida dan Gas Metana.....	22
Gambar 3.1	<i>Aquades</i> .....	34
Gambar 3.2	ELPIJI (LPG) .....	35
Gambar 3.3	Es.....	35
Gambar 3.4	Garam.....	35



Gambar 3.5	Gas Karbon Dioksida .....	36
Gambar 3.6	<i>Cristallyzer</i> .....	37
Gambar 3.7	Motor Listrik .....	37
Gambar 3.8	<i>Inverter</i> .....	38
Gambar 3.9	Gelas Ukur .....	39
Gambar 3.10	Regulator Gas .....	39
Gambar 3.11	Katup .....	40
Gambar 3.12	Flowmeter Gas .....	40
Gambar 3.13	<i>Thermocouple</i> .....	41
Gambar 3.14	<i>Pressure Sensor</i> .....	41
Gambar 3.15	<i>Styrofoam</i> .....	42
Gambar 3.16	Mesin Pendingin .....	42
Gambar 3.17	Timbangan Elektrik .....	43
Gambar 3.18	Instalasi Alat Penelitian .....	44
Gambar 3.19	Diagram Alir Penelitian .....	48
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Waktu terhadap Tekanan Gas dalam <i>Cristallyzer</i> pada Pembentukan Hidrat.....	50
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Waktu terhadap Temperatur Gas dalam <i>Cristallyzer</i> pada Pembentukan Hidrat.....	51
Gambar 4.3	Diagram Tekanan Gas Terdisosiasi terhadap Persen Volume Karbon dioksida.....	52
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Temperatur Gas pada Saat Laju Pembentukan Hidrat .....	62
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Konsumsi Gas dan Waktu pada Saat Laju Pembentukan Hidrat .....	63
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Gas Terurai dan Waktu Pada Saat Stabilitas Hidrat .....	64
Gambar 4.7	Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat .....	65
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Pengukuran dan Konsumsi Gas Hidrat Perhitungan Hidrat dengan Waktu .....	67
Gambar 4.9	Perbesaran Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Perhitungan dan Konsumsi Gas Pengukuran dengan Waktu .....	67



Gambar 4.10 Grafik Nilai k pada Fase Pertama ..... 68

Gambar 4.11 Grafik Nilai k pada Fase Kedua ..... 69



## DAFTAR LAMPIRAN

**No.**                      **Judul**

**Lampiran 1.** Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat

**Lampiran 2.** Data Hasil Stabilitas Hidrat

**Lampiran 3.** Data Hasil Kapasitas Penyimpanan Hidrat

**Lampiran 4.** Komposisi *Liquified Petroleum Gas* (LPG)

**Lampiran 5.** Spesifikasi Produk Karbon Dioksida

**Lampiran 6.** *Material Safety Data Sheet* CO<sub>2</sub>

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan struktur kubus I, struktur kubus II dan struktur heksagonal .....	8
Tabel 2.2	Perbandingan proferti s es dengan struktur kubus I dan II .....	11
Tabel 2.3	Karakteristik umum dari gas alam .....	12
Tabel 2.4	Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata .....	31
Tabel 4.4	Tekanan kritis ( $P_c$ ) dan temperatur kritis ( $T_c$ ) propana butana.....	54

## RINGKASAN

**Reza Naufal Azami**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Pengaruh Variasi Persentase Volume Karbondioksida dalam Campuran Propana Butana pada Tekanan 3 Bar dan Temperatur 273 K terhadap Karakteristik Hidrat*. Dosen Pembimbing: Widya Wijayanti dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

*Perkembangan teknologi mampu mendukung suatu konversi energi, lahir suatu istilah baru yang disebut dengan hidrat, yang merupakan buah dari perkembangan teknologi. Hidrat merupakan senyawa klatrat yang terjebak dalam kristal es dengan temperatur rendah dan tekanan yang tinggi. Hidrat dikembangkan melalui karakteristik yang dimilikinya, yaitu laju pembentukannya, stabilitasnya dan kapasitas penyimpanannya. Terdapat masalah dalam penyimpanan hidrat gas propana dan butana, dimana dibutuhkan tekanan yang tinggi. Dalam perkembangan teknologi, observasi hidrat semakin luas. Dan ternyata terdapat banyak kandungan gas karbon dioksida yang ikut terbentuk hidrat di bagian permafost bumi. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan kemampuan karbon dioksida dalam menurunkan tekanan dalam campurannya dengan gas propana dan gas butana. Dengan menurunkan tekanan hidrat diharapkan dapat membantu untuk membentuk serta menyimpan hidrat dengan tekanan yang lebih rendah. Dari ketiga karakteristik yang dimiliki hidrat, dengan semakin bertambahnya kandungan karbon dioksida mampu menurunkan tekanan awal fase inisiasi, namun menurunkan stabilitas hidrat. Untuk kapasitas penyimpanan hidrat, dari yang paling rendah ke yang paling tinggi didapatkan variasi 100%, kemudian 75%, kemudian 0% kemudian 25%, dan yang terakhir ialah variasi 50%. Hal ini menunjukkan bahwa karbon dioksida memiliki titik persen volume tertentu yang menjadi fungsinya sebagai penurunan tekanan.*

**Kata kunci** : Gas hidrat, Persen volume karbon dioksida, Laju pembentukan, Stabilitas hidrat, Kapasitas penyimpanan hidrat

## SUMMARY

**Reza Naufal Azami**, Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Brawijaya University, June, 2017 Contribution of Volume of Carbon Dioxide Gas in Gas Propane Butane at 3 Bar Pressure and 273 K Temperature Toward Hydrate Characteristics. Academic Supervisor: Widya Wijayanti dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

The development of technology can support the energy conversion system, became the new one called hydrate, the effect of technology development. Hydrate is the clathrate compound that trapped into the void of ice crystal with the high pressure and low temperature. Hydrates was developed by its characteristic, the rate of formation, stability, and storage capacity. There is a problem in hydrate. Its need high temperature in storing hydrate. In the development of technology, observation of hydrates are larger, hydrates carbon dioxide was found in the earth permafrost. In previous studies showed the ability to reduce carbon dioxide pressure in mixtures with propane gas and butane gas. The lower pressure of hydrate was formed the lower pressure are needed to form of hydrate. With its three characteristic, with the increasing of carbon dioxide volume can reduce the pressure of early phase, but decreasing its stability. In the storage capacity, sorted by the highest to lowest variation were 100%, then 75%, then 0%, then 25%, and the last was 50%. That showed that with involving the carbon dioxide in the propane butane mixture has a point percent, at 50% volume.

**Keywords** : Hydrate Gas, Volume Percentage of Carbon Dioxide, Forming Rate, Stability, Storage Capacity



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi semakin hari kian meningkat, utamanya pada penggunaan energi. Dengan meningkatnya kebutuhan dan faktor kepuasan dari konsumen, banyak industri yang mengembangkan teknologinya guna meningkatkan kuantitas produksi. Dengan meningkatnya kuantitas produksi, banyak pula energi yang dibutuhkan. Contoh pada industri manufaktur kendaraan, semakin banyaknya permintaan konsumen. Disisi lain, industri tersebut harus memiliki metode-metode yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi.

Dalam industri skala besar, penggunaan energi merupakan hal vital yang masuk dalam fokus utama. Dengan manajemen energi yang baik tentunya akan meningkatkan kualitas industri tersebut. Kebutuhan akan energi tentu menjadi salah satu modal dasar suatu industri, bagi industri yang boros dalam penggunaan energi akan menurunkan profit nya, yang tentunya hal itu sangat dihindari.

Energi menjadi unsur yang digunakan dalam berbagai segmen perkembangan perindustrian, karena energi merupakan suatu yang dapat menghasilkan kerja. Dengan adanya kerja, proses manufaktur yang melibatkan gerak, perpindahan massa, dan lainnya dapat berlangsung. Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dimusnahkan dan tidak dapat diciptakan. Karena pada prinsipnya, sesuai dengan hukum kekekalan energi, energi merupakan sesuatu yang kekal.

Jika energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dimusnahkan, maka energi merupakan sesuatu yang sudah tersimpan di alam. dengan mengetahui sumber-sumber energi yang ada di alam merupakan kunci dari suatu pemanfaatan energi. Ini membuktikan terdapat pengetahuan dan perkembangan teknologi mengenai pencarian sumber-sumber energi yang ada di alam. Terdapat beberapa macam sumber energi yang tersedia dialam seperti batu bara, gas alam, minyak bumi, dan hidrat gas alam.

Hidrat gas alam merupakan salah satu sumber energi yang telah ditemukan seiring perkembangan teknologi. Hidrat merupakan senyawa klatrat yang terjebak dalam kristal es

dengan temperatur dan tekanan tertentu. Yang dinamakan klatrat merupakan gas yang bermassa ringan yang terjebak dalam hidrat, umumnya berupa metana, butana, propana, dan karbon dioksida. Hidrat sering ditemukan di dalam laut sebagai endapan dan juga ditemukan sebagai permasalahan dalam distribusi gas alam. Penemuan natural gas hidrat atau yang biasa disingkat hidrat atau hidrat gas alam merupakan suatu jalan keluar baru untuk memenuhi kebutuhan energi yang kian meningkat. Masalah yang kemudian ditemukan setelah mengetahui bahwa hidrat gas alam dapat dijadikan jalan baru untuk permasalahan energi ialah penyimpanannya. Tentunya dalam penyimpanan hidrat dibutuhkan kondisi tertentu, yaitu tekanan yang tinggi dan temperatur yang rendah.

Dalam penelitiannya (Adisasmito, 1992) mengungkapkan bahwa masih terdapat banyak sekali hidrat karbon dioksida yang tersimpan di dalam bagian permafost bumi. Peneliti juga mengungkapkan karbon dioksida memiliki sifat kelarutan yang tinggi dalam air dikarenakan *polar attractive force* yang menyebabkan tercampur dan terbentuk hidrat. Dan peneliti telah menguji bahwa persen mol karbon dioksida dalam senyawa gas hidrat dapat menurunkan tekanan pembentukan hidrat pada kondisi tertentu. Dengan menurunkan tekanan hidrat, maka tentunya penambahan karbon dioksida dalam gas hidrat dapat dijadikan solusi penyimpanan hidrat.

Untuk mengetahui karakteristik hidrat, telah dilakukan penelitian oleh (Ganji et al, 2007) terhadap pengaruh dari penambahan sufraktan anion untuk menguji karakteristik hidrat yang meliputi laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat.

Dengan mengetahui karakteristik hidrat, dengan penambahan karbon dioksida, tentunya akan melahirkan ilmu mengenai pengaruh terhadap kadar karbon dioksida yang ditambahkan.

Oleh karena itu, peneliti melakukan pengujian pengaruh persentase volume karbon dioksida dalam campuran gas propana butana pada tekanan 3 bar dan temperatur 273 K terhadap karakteristik hidrat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sedemikian rupa dengan pembahasan diatas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan baru, bagaimanakah pengaruh variasi persen volume

*Carbon Dioxida* (CO<sub>2</sub>) terhadap karakteristik pembentukan gas hidrat propana butana – karbon dioksida

### 1.3 Batasan Masalah

Agar perumusan masalah diatas dapat dibahas dan memiliki fokus yang jelas. Dengan demikian penelitian yang dilakukan akan mencapai tujuan yang terarah, dan penulis akan memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Perilaku gas nyata diterapkan pada gas hidrat propana butana dan Gas CO<sub>2</sub>
2. Tekanan parsial gas seragam.
3. Tidak terjadi kebocoran pada *Cristallizer* saat penelitian berlangsung.
4. Toleransi temperatur *cooling bath*  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ .
5. Melakukan pengujian persentase volume karbon dioksida dalam gas propana butana terhadap laju pembentukan, stabilitas, dan kapasitas penyimpanan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Dapat membantu menyelesaikan permasalahan mengenai penyimpanan gas hidrat.
2. Dapat mengetahui pengaruh adanya karbon dioksida terhadap pembentukan hidrat.
3. Sebagai langkah lanjutan pemahaman mengenai karakteristik pembentukan hidrat dengan tambahan kadar karbon dioksida.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menanggulangi penyimpanan energi berupa hidrat yang membutuhkan tekanan tinggi.
2. Memanfaatkan karakteristik dari gas hidrat sebagai pengembangan produksi maupun storasi dari bahan bakar gas alam.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Adisasmito (1991) dalam penelitiannya menunjukkan penghitungan equilibrium dari karakteristik hidrat dengan dengan komponen gas alam karbon dioksida, dengan gas metana, etana, propana, isobutana, dan normal butana pada temperatur quadruple. Hasil menunjukkan untuk campuran multikomponen dengan variasi jumlah karbon dioksida tertinggi menurunkan tekanan dalam kondisi properties hidrat. Peneliti juga mengungkapkan karbon dioksida memiliki sifat kelarutan yang tinggi dalam air dikarenakan *polar attractive force* yang menyebabkan tercampur dan terbentuk hidrat.

Khokhar, *et al* (1998) dalam penelitiannya mengenai penyimpanan gas metana dalam hidrat dingkapkannya melalui tiga struktur, yaitu struktur heksagonal, struktur kubus I dan struktur kubus II. Dari ketiganya, struktur heksagonal merupakan struktur terbaik dalam penyimpanan gas hidrat ketika gas metana menempati rongga kecil. Kemampuan penyimpanan hidrat diuji menggunakan air murni.

Ganji, *et al* (2007) dalam penelitiannya mengenai pengaruh dari surfaktan anion, kation dan non-ion pada laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan pada hidrat metana. Setiap surfaktan dilakukan pengujian dengan konsentrasi 300, 500 dan 1000 ppm. Pada pengujian laju pembentukan hidrat metana, 75 cm<sup>3</sup> larutan surfaktan dicampurkan dengan gas metana pada tekanan 8.3 MPa dan temperatur 298.2 K dengan kecepatan putar pengaduk 200 rpm. Untuk mengetahui stabilitas hidrat metana, ketika hidrat sudah terbentuk kemudian didiamkan selama 10 jam pada temperatur 268.2. Sedangkan pada penelitian kapasitas penyimpanan hidrat metana, hidrat yang tersisa setelah pengujian stabilitas hidrat pada temperatur 268.2 K didiamkan pada temperatur ruangan sehingga hidrat melepas gas metana yang terjebak di dalamnya.

Rediasa, (2016) dalam penelitiannya pengaruh variasi temperatur terhadap karakteristik hidrat propana butana. Dalam penelitiannya, temperatur pendinginan *cooling bath* diatur pada temperatur 269 K, 271 K, 273 K, 275 K, dan 277K. Dan menunjukkan bahwa pada temperatur *cooling bath* 269 K memiliki laju pembentukan paling cepat, tetapi memiliki nilai

kapasitas paling kecil dari variasi lainnya. Penelitian ini menunjukkan semakin cepat laju pembentukan gas hidrat makan kapasitasnya semakin kecil.

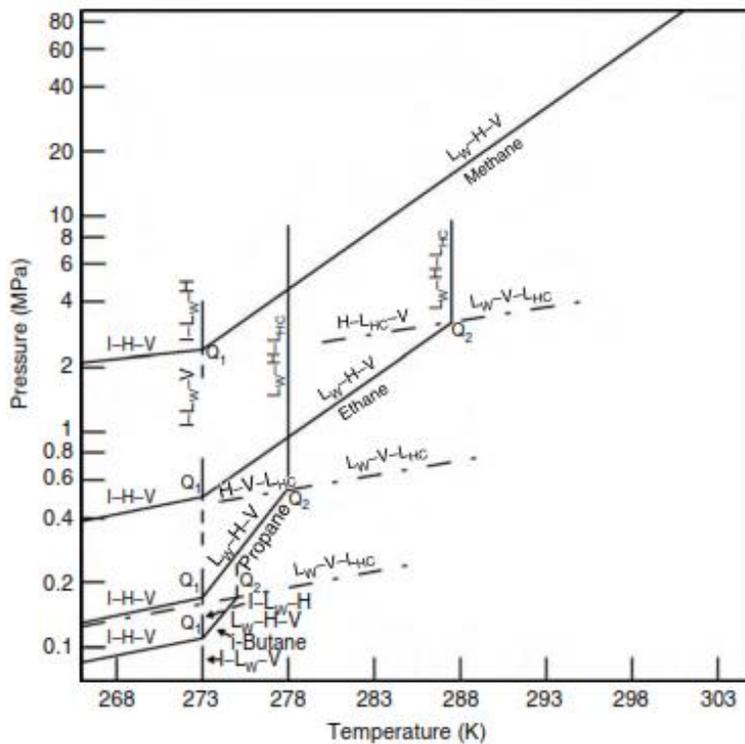
## 2.2 Hidrat Gas Alam

Hidrat gas alam merupakan kristal berbentuk es yang terdiri dari air dan gas pada tekanan tinggi dan temperatur rendah. Molekul air memiliki ikatan hidrogen membentuk sebuah kerangka yang memiliki rongga. Di dalam rongga antar molekul air terdapat molekul gas yang terjebak pada berbagai macam bentuk dan ukuran (Ganji, 2007).

Gas yang terperangkap didalam rongga kristal es tersebut disebut klatrat. Klatrat merupakan senyawa yng terinklusi didalam rongga kristal es (Webster,1994). Molekul gas di alam yang mudah ditemukan adalah metana, etana, propana, karbon dioksida dan butana.

Pada industri gas alam, proses pendistribusiannya yang menggunakan pemipaan dengan bertekanan tinggi dan temperatur rendah kerap menjadi alasan utama terbentuknya hidrat yang menyumbat. Temperatur yang rendah menyebabkan air dapat terdifusi kedalam pipa. Temperatur rendah yang dimaksud bukan merupakan temperatur beku air.

Dalam pembentukannya, hidrat gas alam memiliki variasi temperatur dan tekanan, karena setiap gas hidrat alam yang terkandung dialam memiliki fase yang berbeda-beda. Gambar 2.1 menunjukkan diagaram fase tekanan dan temperatur terbentuknya hidrat pada beberapa hidrokarbon. Pada gambar, H menunjukkan hidrat, I menunjukkan es, V menunjukkan uap,  $L_w$  menunjukkan fase cair air,  $L_{HC}$  menunjukkan fase cair hidrokarbon,  $Q_1$  menunjukkan titik  $Q$  bawah dan  $Q_2$  menunjukkan titik  $Q$  atas. Untuk setiap gas alam, daerah terbentuknya hidrat adalah sebelah kiri dari garis tiga fase (I-H-V), ( $L_w$ -H-V), ( $L_w$ -H- $L_{HC}$ ) serta sebelah kanan dari fase air dalam kondisi cair atau es dan fase gas dalam kondisi uap atau cair.



Gambar 2.1 Diagram fase beberapa gas alam hidrokarbon yang membentuk hidrat.  
Sumber : Sloan (2008,p.7)

Dari gambar diatas  $Q_1$  (I-L<sub>w</sub>-H-V) dan  $Q_2$  (L<sub>w</sub>-H-V-L<sub>HC</sub>) ditunjukkan oleh garis perpotongan tiga fase.  $Q_1$  dan  $Q_2$  pada setiap pembentukan hidrat merupakan klasifikasi kuantitatif untuk komponen hidrat gas alam. Setiap titik pembentukan hidrat (Q) menunjukkan perpotongan dari empat garis tiga fase.  $Q_1$  merupakan transisi dari L<sub>w</sub> menjadi I sehingga terjadi penurunan temperatur.  $Q_1$  menunjukkan dimana pembentukan hidrat berhenti dari uap dan air dan dimana pembentukan hidrat terjadi dari uap dan es.  $Q_2$  menunjukkan batas temperatur tertinggi untuk pembentukan hidrat. Untuk memenuhi perpotongan pada gambar 2.1 maka tekanan uap pada temperatur kritis dapat direndahkan. Gas metana tidak memiliki batas temperatur tertinggi untuk membentuk hidrat.

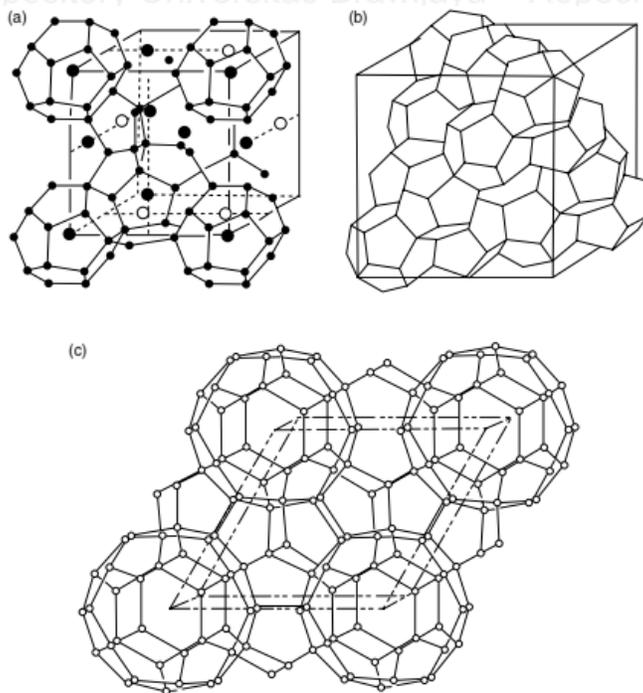
## 2.3 Struktur Hidrat Gas Alam

### 2.3.1 Macam-macam Struktur Molekul Hidrat Gas Alam

Hidrat merupakan molekul ringan (gas) dan molekul air yang saling terikat, akibat adanya kondisi khusus. Dengan demikian terbentuklah struktur ikatan yang memiliki rongga.

Kaadaan ini membentuk struktur Kristal yang berongga dan didalamnya dapat diisi oleh molekul lain. Hidrat diklasifikasikan berdasarkan molekul air yang membentuk Kristal es (Carrol,2009).

Dalam pengklasifikasian struktur hidrat terdapat tiga jenis struktur, yaitu struktur kubus I *body centered cubic* (sI-BCC), struktur kubus II *diamond cubic lattice* (sII-DBC) dan struktur heksagonal (sH). Pada Gambar 2.2 titik menunjukkan atom-atom yang membentuk suatu struktur. Sedangkan garis menunjukkan ikatan antar atom yang membentuk suatu struktur. Perbedaan masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel 2.1



Gambar 2.2 Struktur kristal hidrat. (a) sI, (b) sII dan (c) sH.

Sumber: Sloan (2008,p.13)

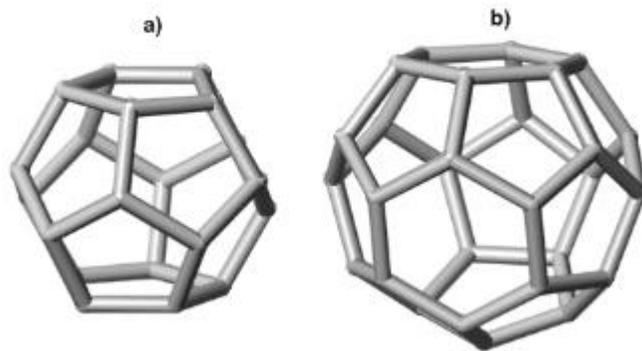
Tabel 2.1  
Perbandingan antara struktur kubus I dan II serta struktur heksagonal

Structure	I	II	H			
Crystal system	Cubic	Cubic	Hexagonal			
Space group	Pm3n (No. 223) <sup>c</sup>	Fd3m (No. 227) <sup>c</sup>	P6/mmm (No. 191) <sup>c</sup>			
Lattice description	Primitive	Face centered	Hexagonal			
Lattice parameters <sup>a</sup>	$a = 12 \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = 17.3 \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = 12.2 \text{ \AA}$ $c = 10.1 \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$			
Ideal unit cell formula	$6(5^{12}6^2) \cdot 2(5^{12}) \cdot 46\text{H}_2\text{O}$	$8(5^{12}6^4) \cdot 16(5^{12}) \cdot 136\text{H}_2\text{O}$	$1(5^{12}6^8) \cdot 3(5^{12}) \cdot 2(4^35^66^3) \cdot 34\text{H}_2\text{O}$			
Number of faces <sup>b</sup> : hexagonal (H), pentagonal (P), square (S)	H = 6 P = 48	H = 16 P = 144	H = 7 P = 30 S = 3			
Atomic positions: number and symmetry	$5^{12}6^2$ (d) $5^{12}$ (a) O(c) O(i) O(k)  $(1/2 \text{ H})$ (i) $3(1/2 \text{ H})$ (k) $2(1/2 \text{ H})$ (l)	$6, \bar{4} 2 \text{ m}$ 2, m3 6, $\bar{4} 2 \text{ m}$ 16, 3 m 24, m  16, 3 24, m 48, 1	$5^{12}6^4$ (b) $5^{12}$ (c) O(a) O(e) O(g)  $2(1/2 \text{ H})$ (e) $3(1/2 \text{ H})$ (g) $(1/2 \text{ H})$ (i)	$8, \bar{4} 3 \text{ m}$ 16, $\bar{3} \text{ m}$ 8, $\bar{4} 3 \text{ m}$ 32, 3 m 96, m  32, 3 m 96, m 192, m	$5^{12}6^8$ $5^{12}$ (g) $4^35^66^3$ O(o), O(h) O(n) O(m)  X(1/2 H) X(1/2 H) X(1/2 H)	1, 6/mmm 3, mmm 2, $\bar{6} \text{ m}2$ 12, m 4, 3 m 12, m 6, mm2

Sumber: Sloan (2008,p.60)

**2.3.1.1 Struktur Kubus I**

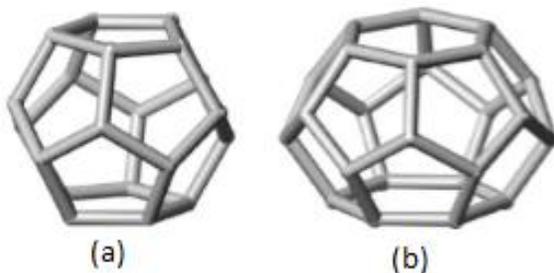
Struktur kubus I membentuk struktur yang primitif seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1. Struktur kubus I memiliki 46 molekul air disetiap titiknya. Struktur I (sI) terdiri dari dua pentagonal dodecahedron dan enam tetrakaidekahedron, total delapan polyhedral disetiap sel kristal. Tetrakaidekahedron merupakan polyhedron dengan jumlah sisi pentagonal sebanyak 12 sisi dan jumlah sisi heksagonal sebanyak 2 sisi. Tetrakaidekahedron memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dodecahedron. Struktur kubus I (sI) memiliki besar diameter antara 4.2 – 6 Å. Contohnya gas etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas metana (CH<sub>4</sub>), dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S).



Gambar 2.3 struktur kubus I, (a) Dodekahedron, (b) tetrakaidekahedron  
Sumber: Birkedal, (2009,p.29)

### 2.3.1.2 Struktur Kubus II

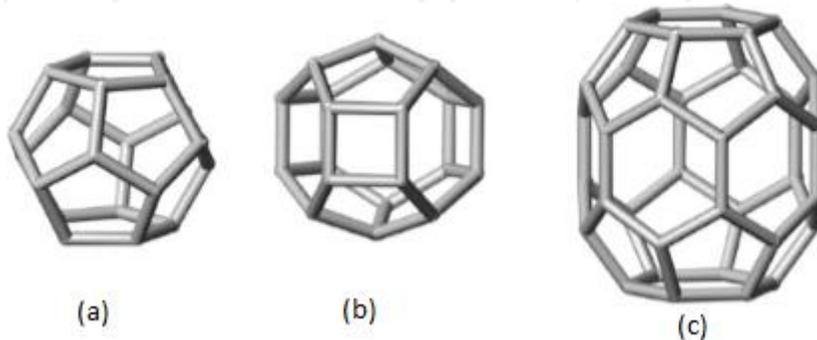
Struktur kubus II memiliki struktur hidrat yang lebih kompleks dibandingkan struktur kubus I. Struktur kubus II tersusun dengan struktur *Face Centered Cubic* (FCC) dengan klasifikasi seperti pada Tabel 2.1. Struktur kubus II memiliki 136 molekul air di setiap sel Kristal. Molekul air pada struktur kubus II akan membentuk dodekahedron dan heksakaidekahedron seperti pada Gambar 2.4. Heksakaidekahedron memiliki 12 sisi pentagonal dan 4 sisi heksagonal, dengan total jumlah 16 sisi. Ukuran heksakaidekahedron lebih besar dibandingkan dodekahedron. Struktur kubus II juga dibentuk oleh molekul gas ringan yang memiliki ukuran diameter ( $d < 4.2 \text{ \AA}$ ) seperti pada gas nitrogen dan gas karbon dioksida sebagai gas tunggal. Propana, pentana, dan iso-butana yang memiliki ukuran molekul antara 6 - 7  $\text{\AA}$  juga akan membentuk struktur kubus II.



Gambar 2.4 struktur kubus II, (a) dodekahedron (b) heksakaidekahedron  
Sumber: Birkedal, (2009,p.30)

### 2.3.1.3 Struktur Heksagonal

Struktur heksagonal merupakan struktur hidrat yang relatif lebih sulit untuk ditemui daripada struktur kubus I dan struktur kubus II. Struktur heksagonal hanya memiliki 34 molekul air di setiap unit sel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2(c). Struktur heksagonal memiliki klasifikasi seperti yang tertera pada Tabel 2.1. Molekul air pada struktur kubus heksagonal akan membentuk dodekahedron, dodekahedron tidak beraturan dan icosahedron tidak beraturan. Dodekahedron tidak beraturan memiliki 3 sisi persegi, 6 sisi pentagonal dan 3 sisi heksagonal. Sedangkan icosahedron tidak beraturan memiliki 12 sisi pentagonal dan 8 sisi heksagonal. Yang masing-masing polyhedron memiliki jumlah 12 sisi dan 20 sisi.



Gambar 2.5 Penyusun struktur heksagonal, (a) dodekahedron, (b) dodekahedron tidak beraturan, (c) ikosahedron tidak beraturan.

Sumber: Birkedal (2009,p.30)

### 2.3.2 Perbedaan Hidrat Gas Alam dengan Es

Hidrat berbeda dengan es, sesuai dengan klasifikasi pada Tabel 2.2. secara bentuk fisik es dengan hidrat gas alam terlihat sama. Struktur kubus I dan struktur kubus II merupakan struktur kubus yang sederhana, 85% dari struktur tersebut berupa air. Sisanya merupakan ikatan pengisi hidrat yang disebut klatrat. Es memiliki tiga belas buah fase kristal yang berbeda sesuai dengan temperatur dan tekanan (Travesset, 2008). Es heksagonal merupakan sebutan untuk air yang berbentuk padat, karena air yang terikat berbentuk tetrahedral, ia memiliki beberapa kemiripan dengan gas hidrat. Perbedaannya juga terletak pada ikatan hidrogen yang terbentuk, pada hidrat rata-rata memiliki ikatan yang lebih panjang 1% daripada es, dan bentuk sudut O-O-O berbeda dari es yang memiliki struktur tetrahedral.

O-O-O yang terbentuk pada struktur kubus I membentuk sudut sebesar O-O-O sebesar  $3.7^\circ$  dan struktur kubus II sebesar  $3.0^\circ$ .

Tabel 2.2

Perbandingan sifat dari es, hidrat sI dan sII

Property	Ice	Structure I	Structure II
<b>Structure and dynamics</b>			
Crystallographic unit cell space group	P6 <sub>3</sub> /mmc	Pm3n	Fd3m
No. of H <sub>2</sub> O molecules	4	46	136
Lattice parameters at 273 K (Å)	$a = 4.52, c = 7.36$	12.0	17.3
Dielectric constant at 273 K	94	~58	~58
Far infrared spectrum	Peak at 229.3 cm <sup>-1</sup>	Peak at 229.3 cm <sup>-1</sup> with others	
H <sub>2</sub> O reorientation time at 273 K (μs)	21	~10	~10
H <sub>2</sub> O diffusion jump time (μs)	2.7	>200	>200
<b>Mechanical properties</b>			
Isothermal Young's modulus at 268 K (10 <sup>9</sup> Pa)	9.5	8.4 <sup>est</sup>	8.2 <sup>est</sup>
Poisson's ratio	0.3301 <sup>a</sup>	0.31403 <sup>a</sup>	0.31119 <sup>c</sup>
Bulk modulus (GPa)	8.8; 9.097 <sup>a</sup>	5.6; 8.762 <sup>a</sup>	8.482 <sup>a</sup>
Shear modulus (GPa)	3.9; 3.488 <sup>a</sup>	2.4; 3.574 <sup>a</sup>	3.6663 <sup>a</sup>
Compressional velocity, V <sub>p</sub> (m/s)	3870.1 <sup>a</sup>	3778 <sup>a,b</sup>	3821.8 <sup>a</sup>
Shear velocity, V <sub>S</sub> (m/s)	1949 <sup>a</sup>	1963.6	2001.14 <sup>b</sup>
Velocity ratio (comp/shear)	1.99	1.92	1.91
<b>Thermal properties</b>			
Linear thermal expansion at 200 K (K <sup>-1</sup> )	$56 \times 10^{-6}$	$77 \times 10^{-6}$	$52 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) at 263 K	2.23	0.49 ± 0.02;	0.51 ± 0.02
	2.18 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.51 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>c</sup>
		0.587 <sup>d</sup>	
Adiabatic bulk compression at 273 K (GPa)	12	14 <sup>est</sup>	14 <sup>est</sup>
Heat capacity (Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1700 ± 200 <sup>c</sup>	2080	2130 ± 40 <sup>c</sup>
Refractive index (632.8 nm, -3°C)	1.3082 <sup>e</sup>	1.346 <sup>e</sup>	1.350 <sup>e</sup>
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.91 <sup>f</sup>	0.94 also see	1.291 <sup>g</sup>

Sumber: Sloan (2008,p.94)

## 2.4 Gas Alam

Gas alam merupakan gabungan dari berbagai macam senyawa gas, umumnya merupakan senyawa hidrokarbon seperti metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), dan butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). Tapi selain itu juga mengandung karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), dan gas inert seperti argon, helium, dan nitrogen. Karenanya gas alam mengandung

gabungan dari hidrokarbon ringan dan senyawa non-hidrokarbon. Dalam pengolahan gas alam, sering kali masih terdapat kandungan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang ikut terdistribusi.

Dalam ilmu teori kinetik, jika temperatur moleku-molekul gas diturunkan secukupnya maka gaya antar molekul dalam gas tersebut akan menjadi efektif dalam mengikat partikel-partikel karena tekanan akan mengefektifkan gaya antar molekul. Jika jarak antar molekul berjauhan maka gaya tarik menarik antar molekul akan semakin melemah, tetapi karena temperatur yang efektif menyebabkan jarak molekul mendekat dan gaya tariknya akan meningkat. Gas akan mencair apabila gaya tariknya cukup besar. Sebutan temperatur yang dimiliki gas adalah temperatur kritis gas. Temperatur kritis ialah dimana gas tidak dapat mencair meskipun diberikan tekanan tertentu. Tekanan yang diberikan untuk mencairkan gas pada temperatur kritis disebut dengan tekanan kritis.

#### 2.4.1 Gas Butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )

Salah satu senyawa yang merupakan kandungan gas alam yang mudah terbakar ialah gas butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Gas butana merupakan gas yang tidak memiliki warna. Gas butana memiliki berat molekul sebesar 58 g/mol dan lebih berat dari gas propana yang memiliki berat molekul sebesar 44 gram/mol. Beberapa karakteristik butana ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik umum dari gas alam.

	Molecular Weight	Specific Gravity	Vapor Density air = 1	Boiling Point °C	Ignition Temperature °C	Flash Point °C
Methane	16	0.553	0.56	-160	537	-221
Ethane	30	0.572	1.04	-89	515	-135
Propane	44	0.504	1.50	-42	468	-104
Butane	58	0.601	2.11	-1	405	-60
Pentane	72	0.626	2.48	36	260	-40
Hexane	86	0.659	3.00	69	225	-23
Benzene	78	0.879	2.80	80	560	-11
Heptane	100	0.668	3.50	98	215	-4
Octane	114	0.707	3.90	126	220	13
Toluene	92	0.867	3.20	161	533	4
Ethyl benzene	106	0.867	3.70	136	432	15
Xylene	106	0.861	3.70	138	464	17

Sumber: Speight (2007,p.81)

#### 2.4.2 Gas Propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)

Gas propana merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki ciri khas tiga atom karbon yang berwujud gas pada keadaan normal. Gas hidrokarbon merupakan gas alam yang mudah terbakar (Mokhatab *et al*, 2006).

Berat molekul dari senyawa gas propana ialah sebesar 44g/mol. Gas propana memiliki berat molekul yang lebih tinggi dibandingkan gas metana dan gas etana. Karakteristik umum dari gas propana ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

#### 2.4.3 *Liquified Petroleum Gas* (LPG)

*Liquified Petroleum Gas* (LPG) dalam bahasa Indonesia dituliskan sebagai ELPIJI yang merupakan produk olahan Pertamina. ELPIJI merupakan gas hidrokarbon hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas yang komponen yang mendominasi ialah gas propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dan gas butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). ELPIJI memiliki berat jenis sebesar 2.01 yang dengan angka tersebut menunjukkan bahwa lebih tinggi daripada berat jenis udara.

ELPIJI dipasarkan untuk digunakan di masyarakat dalam bentuk cair, karena volume ELPIJI dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dengan volumenya pada bentuk gas walaupun berat keduanya sama.

Tekanan gas ELPIJI dalam tabung bervariasi tergantung komposisi senyawa gas yang ada didalamnya. Karena setiap senyawa memiliki tekanan parsial berbeda-beda tergantung pada unsur kandungannya. Namun ketika gas ELPIJI berisikan gas propana dengan kemurnian ~99% maka akan membutuhkan tekanan 2.2 MPa (22 bar) pada temperatur 55 °C untuk mencairkannya. Sedangkan butana murni pada temperatur 20 °C membutuhkan 220 kPa (2.2 bar) untuk mencairkannya.

ELPIJI dispesifikasikan menjadi ELPIJI propana, ELPIJI butana, dan ELPIJI campuran yang berisikan 50% gas butana dan 50% gas propana. Pada pengujian kali ini menggunakan ELPIJI campuran.

#### 2.4.4 Gas Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida memiliki penggunaan khusus di berbagai aplikasinya, umumnya sebagai gas pengotor. Di bagian *permafrost* bumi dan laut dalam terdapat banyak simpanan

karbon dioksida bersama gas hidrokarbon lain. Untuk satu molekul karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) mengandung satu atom karbon dan dua atom karbon oksigen yang berikatan secara kovalen. Karbon dioksida ialah gas tidak berwarna dan tidak berbau, dan sering dikategorikan merusak kesehatan.

Pada keadaan *Standard Temperature and Pressure* (STP) nilai rapatan karbon dioksida  $1.98 \text{ kg/m}^3$ . Karbon dioksida memiliki struktur yang linier, artinya bentuknya simetris antara ikatan kovalen masing-masing atom karbonnya. Karbon dioksida bersifat inert, mencekik dan asam dengan berat molekulnya  $44,01 \text{ gram/mol}$ . Spesifikasi gravitasi gasnya sebesar  $1,53$  ( $21,11^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ atm}$ ). Karbon dioksida juga memiliki titik didih  $-79^\circ\text{C}$  pada tekanan  $1 \text{ atm}$ . Karbon dioksida memiliki kemampuan larut dalam air 28 kali lebih baik dari pada metana.

## 2.5 Pencampuran Gas

### 2.5.1 Teori Tekanan Total Gas

Salah satu teori pencampuran gas dikemukakan oleh John Dalton pada tahun 1801 mengenai tekanan total pada suatu campuran gas, bahwa tekanan total dari campuran gas sama dengan jumlah tekanan pada masing-masing gas yang bercampur (parsial). Teori John Dalton dapat dirumuskan dengan persamaan dibawah ini:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

$P_t$  = Tekanan campuran total

$P_1$  = Tekanan parsial gas ke-1

$P_2$  = Tekanan parsial gas ke-2

$P_3$  = Tekanan parsial gas ke-3

$P_n$  = Tekanan parsial gas ke-n

### 2.5.2 Teori Volume Total Gas

Teori ini menjelaskan tentang volume campuran gas pada tekanan dan temperatur yang sama, dikemukakan oleh Amagat pada tahun 1880, mengatakan bahwa volume total dari

campuran gas sama dengan volume pada masing-masing gas yang bercampur (parsial). Teori Amagat dapat dirumuskan dengan persamaan dibawah ini:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

$V_t$  = Volume campuran total

$P_1$  = Volume parsial gas ke-1

$P_2$  = Volume parsial gas ke-2

$P_3$  = Volume parsial gas ke-3

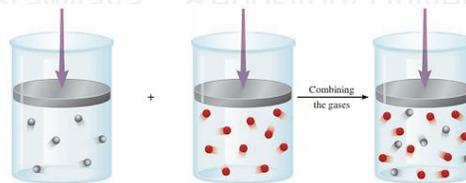
$P_n$  = Volume parsial gas ke-n

### 2.5.3 Campuran Zat

Campuran zat merupakan gabungan dari dua atau lebih zat dengan perbandingan konsentrasi yang tidak tetap tanpa melalui reaksi kimia. Ketika beberapa zat atau komponen dicampurkan maka sifat campuran tersebut akan sesuai dengan sifat masing-masing penyusunnya. Terdapat dua macam bentuk campuran yaitu campuran homogen dan campuran heterogen

#### 1. Campuran homogen

Campuran homogen merupakan campuran antara dua zat atau lebih yang partikel-partikel penyusun tidak dapat dibedakan lagi, atau sering juga disebut dengan larutan. Jenis campuran homogen, antara lain: campuran gas dalam gas, campuran gas dalam zat cair, campuran gula dalam air dan campuran garam dalam air.



Gambar 2.16 Campuran gas dengan gas  
Sumber : Chang (2008:149)

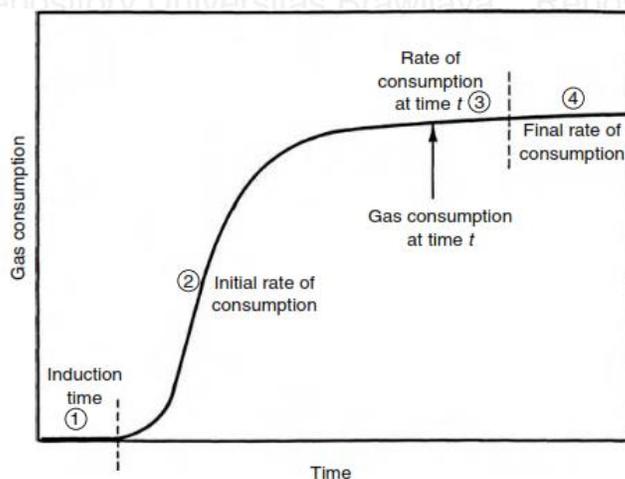
## 2. Campuran heterogen

Campuran heterogen merupakan campuran antara dua atau lebih zat yang partikel-partikel penyusunnya masih dapat dibedakan satu dengan yang lainnya. Pada campuran heterogen dinding pembatas antar zat masih dapat dilihat, misal campuran air dengan minyak, campuran serbuk besi dan air, dan sebagainya.

### 2.6 Pembentukan Hidrat

Hidrat gas alam dapat terbentuk dengan beberapa kondisi. Kondisi tersebut ialah adanya gas pengisi hidrat atau disebut klatrat, yang merupakan senyawa gas alam yang akan terjebak dalam air. Dan dengan kondisi temperatur rendah sampai mendekati titik beku air dan tekanan tinggi.

Pada pendistribusian gas alam yang bertekanan tinggi, hidrat gas dapat terbentuk akibat adanya air bebas dan temperatur gas yang dialirkan ber temperatur rendah, dan mendekati temperatur pembentukan hidrat. Hidrat berbentuk seperti es lunak dan relatif padatan. Sehingga adanya hidrat pada saluran akan menyebabkan penyumbatan proses pendistribusian gas.



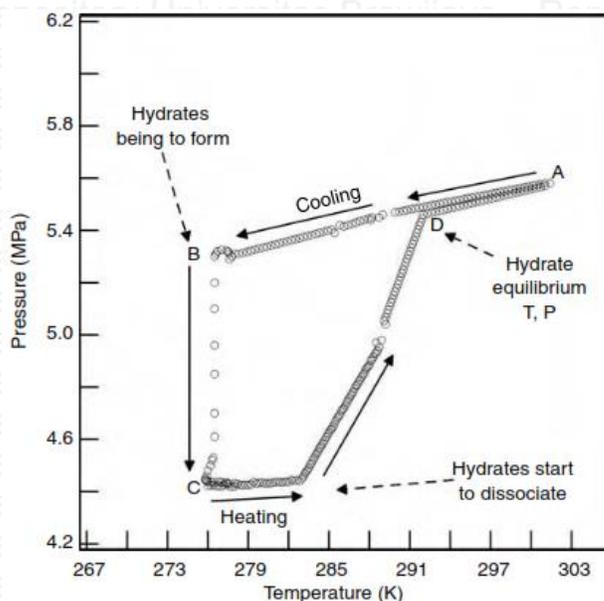
Gambar 2.8 Hubungan Antara waktu pembentukan dan konsumsi gas pada pembentukan hidrat

Sumber: Sloan (2008,p.115)

Gambar 2.8 menunjukkan hubungan antara waktu dan konsumsi gas dalam pembentukan dan pertumbuhan hidrat dalam sistem turbulensi atau kavitasi pada tekanan dan temperatur

konstan. Kondisi diatas dapat dicontohkan dengan tabung yang didalamnya terdapat gas hidrokarbon dan air yang ditekan sesuai dengan tekanan dan temperatur pembentukan hidrat.

Dengan menjaga tekanan dalam sistem hidrat akan terbentuk. Terdapat empat proses dalam Gambar 2.8. Pertama, waktu induksi, yang merupakan waktu terbentuknya fase gas pada hidrat. Namun, pada kondisi ini belum terbentuk hidrat, karena kondisinya yang masih metastabil (kemampuan suatu sistem non-equilibrium dalam jangkak waktu lama). Kedua, merupakan tahap pertumbuhan hidrat dan konsumsi gas yang kian meningkat. Ketiga, kondisi dimana konsumsi gas semakin sedikit. Keempat, merupakan kondisi akhir dimana konsumsi gas berhenti. Dari diagram dapat dijelaskan bahwa hidrat dapat terbentuk dengan jumlah gas tertentu. Karena gas hidrat memiliki konsumsi gas yang bergantung dari komposisi air dan temperatur serta tekanan untuk setiap pembentukan.



Gambar 2.9 Garis hubungan tekanan dan temperatur pada hidrat metana sederhana. Sumber: Sloan (2008,p.115)

Dari Gambar 2.9 dapat dilihat, yang menjelaskan tentang tahap pembentukan hidrat metana secara sederhana. Pada eksperimen ini besarnya tekanan dirubah sepanjang sskperimen dan volume besarnya konstan.

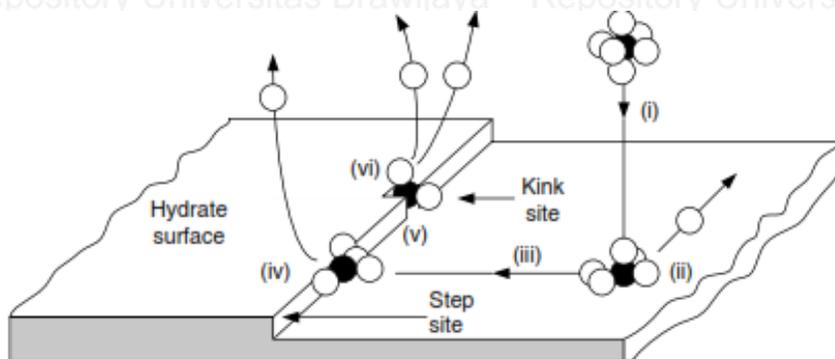
Pada kondisi metasetabil pembentukan hidrat tidak dapat terbentuk. Titik D merupakan titik setimbang antara tekanan dan temperatur hidrat. Namun tekanan sistem akan terus

menurun secara linier. Titik A menuju titik B ini merupakan tahap induksi dimana hanya baru terbentuk fase hidrat gas. Pada titik B hidrat sudah mulai terbentuk ditandai dengan penurunan tekanan yang drastis hingga ke titik C dan temperatur konstan. Pada kondisi B ke C ini merupakan tekanan dan temperatur pembentukan hidrat. Dan pada titik C sistem mulai dihangatkan sehingga tekanan kembali meningkat dan struktur hidrat mengalami pemisahan hingga titik D.

### 2.7 Pertumbuhan Hidrat

Pada Gambar 2.9 pertumbuhan hidrat ditunjukkan oleh titik B dan titik C. Tanda dari mulainya hidrat tumbuh ditunjukkan dengan perubahan tekanan sistem yang drastis menurun. Selama proses pertumbuhan hidrat ini perpindahan panas dan massa adalah kunci utamanya. Karena proses yang paling mendominasi ketika hidrat tumbuh adalah pada perpindahan massa gas menuju ke permukaan hidrat. Lebih dari 15 % dari hidrat mengandung mol gas.

Ditunjukkan dari tingkat molekulnya pertumbuhan hidrat dapat dipengaruhi oleh tiga faktor. Faktor yang pertama adalah pertumbuhan kristal pada permukaan hidrat. Faktor yang kedua adalah perpindahan massa komponen dari permukaan kristal yang tumbuh. Dan faktor yang terakhir adalah perpindahan panas eksotermis dari pembentukan hidrat yang agak jauh dari permukaan kristal hidrat yang tumbuh.



Gambar 2.10 Mekanisme pertumbuhan kristal hidrat  
Sumber: Sloan (2008,p.151)

Pada gambar 2.10 menunjukkan mekanisme pertumbuhan kristal hidrat dengan tahapan sebagai berikut:

- I. Molekul gas dipindahkan menuju permukaan kristal yang mengalami pertumbuhan. Molekul gas menuju permukaan dengan energi Gibbs yang dihasilkan permukaan kristal.
- II. Molekul gas teradsorpsi pada permukaan kristal. Air berubah menjadi kristal padat yang menghasilkan medan gaya ke dalam fluida sehingga menyebabkan gugus tersebut mengikuti permukaan.
- III. Tahap setelah difusi molekul gas. Molekul gas telah memasuki permukaan kristal. Molekul yang teradsorpsi menyebar dalam dua dimensi sepanjang permukaan karena terdapat medan gaya yang tegak lurus dengan permukaan kristal.
- IV. Gugus menempel pada *step* kristal dengan melepas molekul pelarut. Dua permukaan padat dari *step* memberikan sebusuh gaya (dengan dua interaksi permukaan reaktan) pada spesimen yang berpindah
- V. Gugus hanya dapat bergerak pada satu dimensi sepanjang *step*. Gugus berdifusi dari daerah *step* menuju ke daerah *kink* (titik cacat pada daerah *step*).
- VI. Gugus telah diadsorpsi pada daerah *kink*. Pada daerah ini terdapat tiga atau lebih permukaan padat sehingga memberikan gaya yang lebih besar pada molekul gas
- VII. Setelah fase VI gugus akan bergerak ke arah tiga dimensi (tidak ditampilkan).

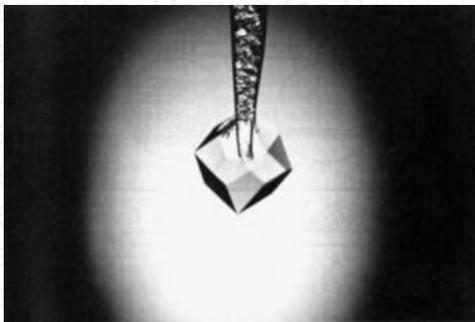
Pada gambar 2.10 nomer (ii), (iv) dan (vi) gugus diintegrasikan ke permukaan kristal. Gugus tersebut akan masuk ke dalam rongga dan molekul pelarut berlebih akan terlepas. Jika molekul gas terlalu besar dan tidak dapat masuk ke dalam rongga, maka rongga akan mengalami penataan ulang selama beberapa waktu. Penataan ulang dalam rongga yang tepat dapat menjadi tingkat kinetik dan tidak ada rongga yang mengalami regangan. Ikatan rongga selesai dengan integrasi akhir dari gugus ke daerah yang dinamakan *kink*. Molekul gugus berlebih akan dilepaskan dan spesimen kehilangan energi residu pergerakan sepanjang permukaan kristal.

Hidrat dapat tumbuh sebagai kristal tunggal di larutan air dan hidrokarbon. Pertumbuhan hidrat kristal tunggal merupakan metode yang digunakan untuk menguji efek aditif dari pertumbuhan kristal dan morfologi hidrat. Kristal tunggal tetrahidrofuran dan etilen oksida mudah untuk dibentuk karena kedua unsur pembentuk larut dalam air. Sedangkan kristal tunggal hidrat gas sulit didapatkan (Udachin *et al.*, 2002).

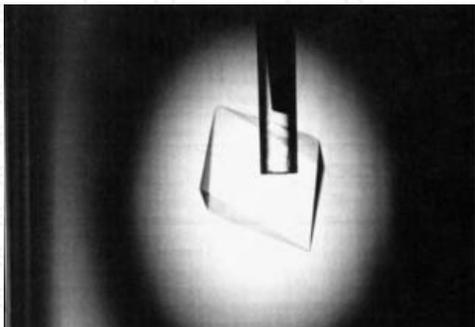
Pada gambar 2.11 dan 2.12 menunjukkan kristal hidrat tunggal dari struktur kubus I dan II yang dibentuk dari persamaan stoikiometri dari etilen oksida (gambar 2.11) dan tetrahidrofuran (gambar 2.12) masing-masing dalam kondisi diam (Larson *et al.*, 1996).

Kristal tunggal etilen oksida memiliki 110 bidang kristal struktur I. Sedangkan kristal tunggal tetrahidrofuran mempunyai 111 bidang kristal struktur II.

Pertumbuhan kristal tunggal dengan 111 bidang pada struktur II tumbuh lebih lambat karena mengandung dominasi bidang heksagonal daripada bidang kristal lainnya. Hal ini dikarenakan bidang heksagonal jauh lebih kencang (sudut antara O-O-O adalah  $120^\circ$ ) daripada bidang pentagonal ( $108^\circ$ ) relatif terhadap tetrahedral ( $109^\circ$ ) dan air yang memiliki sudut antara H-O-H adalah  $104.5^\circ$ . Pernyataan yang sama juga dapat menjelaskan bidang 110 pada struktur I.



Gambar 2.11 Bentuk kristal hidrat tunggal etilen oksida (sI)  
Sumber: Sloan (2008,p.156)



Gambar 2.12 Bentuk kristal hidrat tunggal tetrahidrofuran (sII)  
Sumber: Sloan (2008,p.156)

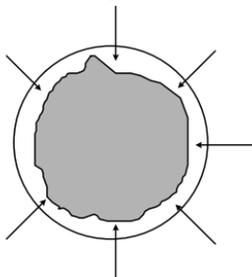
## 2.8 Penguraian Hidrat

Penguraian hidrat merupakan proses pemisahan molekul pembentuk hidrat yang merupakan air dan gas dengan proses endotermik (panas dari luar sistem). Proses memiliki urgensi khusus dalam ranah sistem pemipaan gas. Agar hidrat bisa menjadi masalah pemipaan yang memiliki solusi.

Terdapat metode-metode yang digunakan untuk proses penguraian hidrat dalam industri distribusi gas alam menggunakan sistem pemipaan. Metode tersebut ialah *depressurization*, *thermal stimulation*, *thermodynamic inhibitor injection* atau *methods combination*.

Pada Gambar 2.9 proses penguraian hidrat terjadi pada daerah antara titik C sampai titik D. Pada sistem tersebut terlihat pada titik tersebut diberikan panas pada sistem untuk melihat angka penguraian dari hidrat tersebut. Tekanan dalam sistem pun akan meningkat akibat temperatur sistem meningkat, sehingga sistem akan menuju ke titik D. Titik D merupakan kondisi penguraian setimbang dari hidrat (tekanan dan temperatur).

Visualisasi modern dari penguraian hidrat melibatkan hidrat radial yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dan juga penguraian hidrat aksial pada Gambar 2.14. Visualisasi yang akurat berdasarkan perpindahan panas dan penguraian hidrat, ialah pada saat hidrat berada ditengah dikelilingi fasa air stasioner. Fasa air stasioner merupakan penghasil panas untuk penguraian hidrat (Davies et al., 2006). Disosiasi radial merupakan fenomena fisik yang terjadi secara kebetulan karena penguraian hidrat lebih cepat dibandingkan disosiasi aksial. Hal ini disebabkan oleh dimensi radial memiliki dimensi yang lebih besar dari dimensi longitudinal sehingga daerah permukaannya pun lebih besar, yang menyebabkan perpindahan panas radial lebih besar dari aksial.



Gambar 2.13 Disosiasi radial  
Sumber: Sloan (2008,p.177)

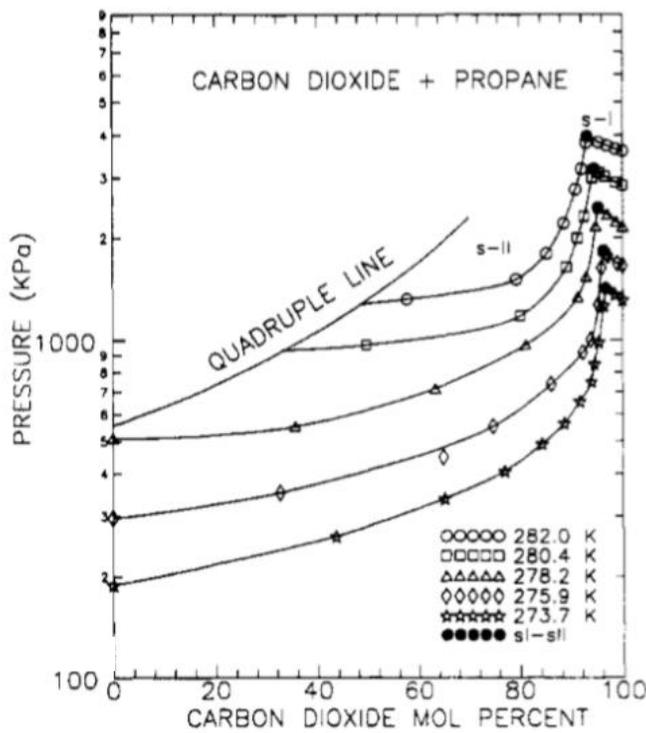


Gambar 2.14 Disosiasi aksial  
Sumber: Sloan (2008,p.177)

*X-ray Computed Tomography* (CT) merupakan alat yang mendukung bukti struktur disosiasi radial, yang digunakan saat melakukan penelitian disosiasi metana pada inti hidrat (Gupta, 2007). CT *X-ray* mampu menangkap kepadatan dari profil inti hidrat, dan menunjukkan hidrat terpisah secara disosiasi radial.

## 2.9 Hidrat Karbon Dioksida

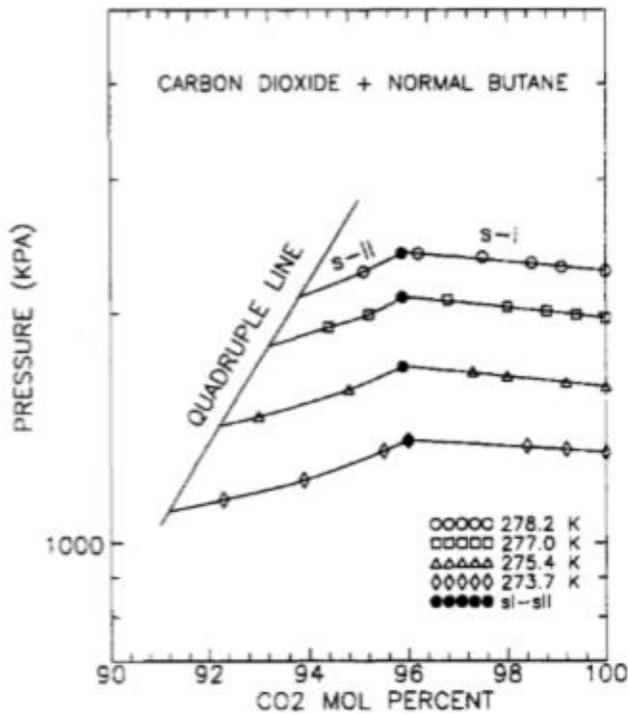
Sering ditemukan sedimentasi berupa hidrat karbon dioksida dengan gas alam. (Kvenvoiden, 1988) dalam penelitiannya mengestimasi bahwa masih terdapat sejumlah hidrat karbon dioksida yang terbentuk dan bercampur dengan gas alam secara alami. Hidrat karbon dioksida merupakan hidrat dengan klatrat berupa karbon dioksida, telah dilakukan penelitian hidrat karbon dioksida dengan campuran gas alam lain, seperti karbon dioksida-propana dan karbon dioksida-butana. Dan melihat hubungan tekanan dengan kadar karbon dioksida dalam campuran tersebut. Pengujian campuran gas karbon dioksida dengan gas alam telah dilakukan oleh Adisasmito pada tahun 1992. Keterkaitan dengan penelitian yang menguji campuran dengan gas propana butana (50% propana + 50% butana), berikut grafik hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Adisasmito pada tahun 1992.



Gambar 2.15 Hubungan tekanan dengan persen mol pada campuran karbon dioksida + normal butana

Sumber: Adisasmito (1992,p.347)

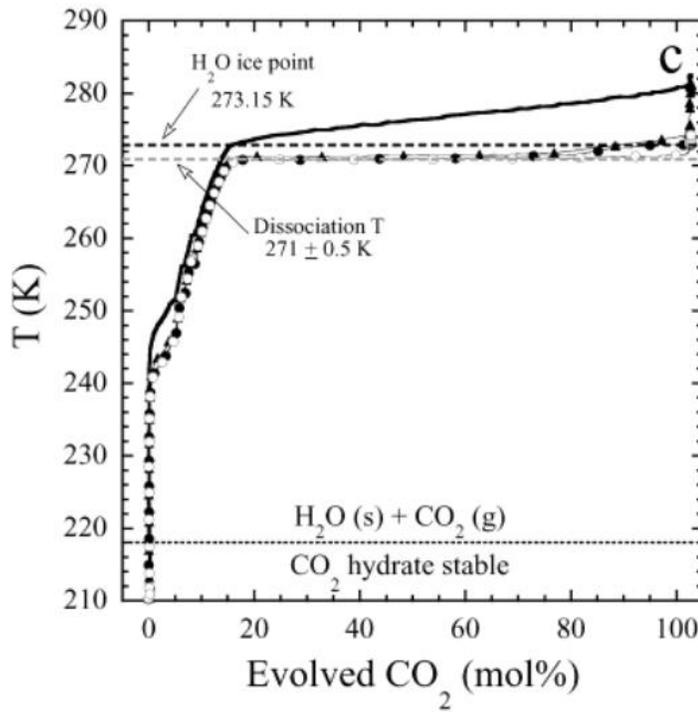
Dari gambar 2.15 merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Adisasmito, 1992) bahwa semakin bertambahnya kandungan karbon dioksida dalam campuran karbon dioksida-propana, tekanan dalam sistem meningkat hingga tekanan tertentu, kemudian turun. Dari gambar 2.15 menunjukkan bahwa pada kandungan persen mol dari karbon dioksida. Pengujian diatas dilakukan pada variasi suhu 273 K sampai 282 K. Dari gambar 2.15 terlihat bahwa terbentuk struktur hidrat II seiring kenaikan tekanan dalam sistem, kemudian berpuncak pada satu titik transnsisi struktur, dan kemudian tekanan turun dengan tanda membentuk struktur I.



Gambar 2.16 Hubungan tekanan dengan persen mol pada campuran karbon dioksida + butana

Sumber: Adisasmito (1992,p.347)

Dari gambar 2.16 merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Adisasmito, 1992) bahwa semakin bertambahnya kandungan karbon dioksida dalam campuran karbon dioksida-butana, tekanan dalam sistem meningkat hingga persen karbon dioksida tertentu, kemudian turun. Yang sedikit membedakan dengan penelitian campuran karbon dioksida-normal butana yaitu pada variasi temperatur, pada penelitian karbon dioksida-propana dengan temperatur 273 K sampai 278 K. Dari gambar 2.16 terlihat bahwa terbentuk struktur hidrat II seiring kenaikan tekanan dalam sistem, kemudian berpuncak pada satu titik transisi struktur, dan kemudian tekanan turun dengan tanda membentuk struktur I.



Gambar 2.17 Hubungan temperatur dengan jumlah mol yang terbentuk hidrat karbon dioksida

Sumber: Circone (2003,p.10)

Dari gambar diatas terlihat hubungan antara temperature dengan jumlah mol karbon dioksida yang dapat terbentuk, terlihat juga bahwa kondisi stabil untuk hidrat karbin dioksida berada pada temperature 220 K.

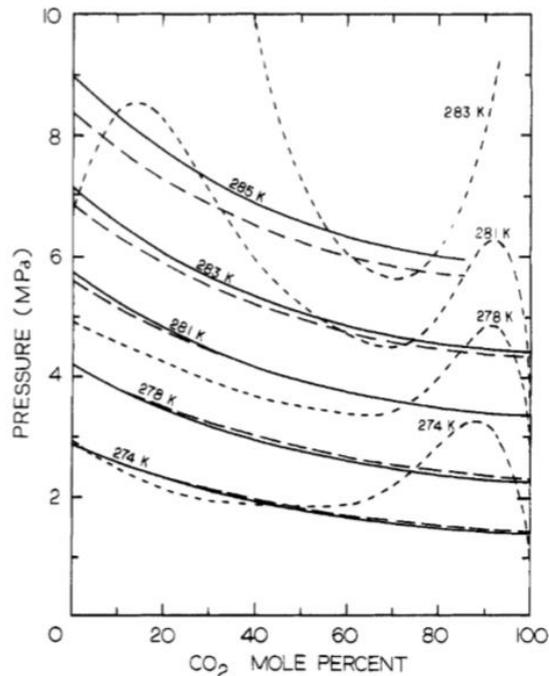


Figure 5. Hydrate equilibrium isotherms of carbon dioxide and methane mixtures: (—) this work; (---) ref 4; (-.-) ref 5.

Gambar 2.18 Equilibrium hidrat dari campuran gas karbon dioksida dan gas metana  
Sumber: Adisasmito (1992, p.11)

Dari gambar 2.8 dapat dilihat bahwa hubungan tekanan campuran gas karbon dioksida dan gas metana dengan persen mol karbon dioksida yang tercampur. Terlihat bahwa semakin bertambahnya persen mol karbon dioksida akan menurunkan tekanan sistem, namun pada persen mol tertentu, tekanan naik dan sampai pada tekanan maksimum yang mampu diciptakan kemudian turun secara drastis. Hal ini mendukung pendapat yang mengatakan bahwa terjadi transisi struktur yang dimiliki oleh karbon dioksida pada persen mol tertentu.

## 2.10 Persamaan Gas Ideal

Boyle, Charles dan Gay-Lussac telah mengembangkan hukum gas yang berawal dari menganalisis hubungan antara tekanan, volume, dan temperatur sejumlah gas. Gas ideal merupakan gas hipotesis yang dianggap akan mengikuti hukum gabungan gas pada bermacam temperatur dan tekanan (Brady, 1998). Pada prinsipnya, semua sifat gas seperti tekanan, volume dan temperatur merupakan akibat dari perilaku molekul yang membentuk gas (Cengel, 2004).

Terdapat lima kondisi yang menggambarkan molekul sesuai dengan teori gas ideal, yaitu:

1. Molekul pada suatu gas dianggap tidak memiliki volume dan dianggap hanya sebuah titik.
2. Gas terdiri dari kumpulan molekul yang bergerak secara garis lurus dan pergerakan molekul ini sesuai dengan Hukum Newton.
3. Antara molekul dengan molekul lainnya tidak ada gaya tolak menolak maupun tarik menarik.
4. Antara molekul dengan molekul lainnya saling bertumbukan elastis sempurna (tidak ada energi yang hilang selama terjadi tumbukan).
5. Energi kinetik rata-rata molekul ditunjukkan pada Persamaan 2-1, yaitu:

$$EK = \frac{3}{2} kT \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan:

EK = Energi kinetik (J)

T = Temperatur absolut (K)

k = Konstanta Steven Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ )

Persamaan 2-2 menunjukkan persamaan gas ideal, yaitu:

$$pV = nRT \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas ( $\text{m}^3$ )

n = Jumlah mol gas (mol)

R = Konstanta Avogadro ( $8.314 \text{ J/mol.K}$ )

T = Temperatur absolut (K)

## 2.11 Persamaan Gas Nyata

Sesuatu yang menjadi salah satu ciri khas gas ialah, gas dapat ditekan. Gas nyata merupakan kondisi yang berbeda dengan gas ideal. Molekul yang nyata merupakan volume yang terbatas, sehingga gas nyata tak dapat secara sempurna memenuhi Hukum Boyle, terlebih pada tekanan yang tinggi (Brady, 1998). Pada gas nyata, apabila kita memampatkan gas dengan tekanan yang besar, volumenya akan lebih besar daripada apabila kita memampatkan gas ideal pada kondisi yang sama.

Ada empat model persamaan pada gas nyata, yaitu:

### 1. Persamaan Van der Waals

Persamaan ini merupakan model pertama yang menjelaskan tentang konsep gas nyata. Molekul gas ideal dianggap tidak memiliki volume, sehingga pada gas ideal menempati ruang kosong, kedalamnya molekul gas lain dapat diisi dengan dimampatkan. Bila kita hubungkan dengan gas nyata, ruang kosong yang terdapat dalam dengan volume gas ideal, maka ukuran volume dari gas nyata ternyata lebih besar dari volume gas ideal, selisih keduanya berkaitan dengan ukuran molekul gas nyata. Oleh karena itu, adanya penyesuaian dari persamaan gas ideal menjadi persamaan gas nyata dengan mengganti besaran  $V$  (volume) diganti dengan  $(V-b)$  dan besaran  $p$  (tekanan) diganti dengan  $(p + \frac{a}{V^2})$ .

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = nRT \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$a, b$  = Konstanta persamaan keadaan van der Waals

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

## 2. Persamaan keadaan Redlich-Kwong

Persamaan keadaan Redlich-Kwong merupakan penyempurnaan dari persamaan keadaan van der Waals. Konstanta  $a$  dan  $b$  pada persamaan keadaan Redlich-Kwong dipengaruhi titik kritis tekanan maupun temperature gas. Persamaan keadaan Redlich-Kwong mampu memprediksi sifat pada kondisi sesuai Persamaan 2-4.

$$\frac{p}{p_c} < \frac{T}{2T_c} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}V(V+b)} \dots\dots\dots(2-5)$$

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$p_c$  = Tekanan kritis gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

$T_c$  = Temperatur kritis absolut (K)

$a$  = Konstanta persamaan keadaan Redlich-Kwong ( $a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c}$ )

$b$  = Konstanta persamaan keadaan Redlich-Kwong ( $b = 0.08662 \frac{RT_c}{p_c}$ )

## 3. Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong

Persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong merupakan penyempurnaan dari persamaan keadaan Redlich-Kwong. Pada persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong terdapat konstanta  $\alpha$  yang memiliki faktor asentrik ( $\omega$ ), tekanan tereduksi ( $P_r$ ) dan temperatur tereduksi ( $T_r$ ). Faktor asentrik merupakan ukuran ketidakbulatan suatu molekul. Persamaan 2-9 dan 2-10 merupakan tekanan dan temperatur tereduksi yang mempengaruhi konstanta  $\alpha$ .

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\alpha = \{1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\omega = -1 - \log P_r \dots\dots\dots (2-8)$$

$$p_r = \frac{p}{p_c} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan:

$p$  = Tekanan gas (Pa)

$p_c$  = Tekanan kritis gas (Pa)

$p_r$  = Tekanan tereduksi gas (Pa)

$V$  = Volume sistem suatu gas ( $m^3$ )

$n$  = Jumlah mol gas (mol)

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

$T_c$  = Temperatur kritis absolut (K)

$T_r$  = Temperatur tereduksi gas (K)

$a$  = Konstanta persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong ( $a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c}$ )

$b$  = Konstanta persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong ( $b = 0.08662 \frac{RT_c}{p_c}$ )

$\alpha$  = Konstanta yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$

$\omega$  = Faktor asentrik

#### 4. Persamaan keadaan Peng-Robinson

Persamaan keadaan Peng-Robinson merupakan penyempurnaan dari persamaan keadaan Soave-Redlich-Kwong. Keutamaan dari persamaan keadaan Peng-Robinson daripada persamaan keadaan lainnya ialah:

- Parameter yang terdapat dinyatakan dalam sifat kritis tekanan dan temperatur dan faktor asentrik ( $\omega$ ). Faktor asentrik ialah ukuran ketidak bulatan suatu molekul gas.

- Persamaan berlaku di semua perhitungan karakteristik pada gas alam.

$$p = \frac{nRT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 + 2bV - b^2} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$\alpha = \{1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas (m<sup>3</sup>)

n = Jumlah mol gas (mol)

R = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

T = Temperatur absolut (K)

T<sub>r</sub> = Temperatur tereduksi gas (K)

a = Konstanta persamaan keadaan Peng-Robinson  $\left(a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c}\right)$

b = Konstanta persamaan keadaan Peng-Robinson  $\left(b = 0.08662 \frac{RT_c}{P_c}\right)$

α = Konstanta yang dipengaruhi P<sub>r</sub> dan T<sub>r</sub>

ω = Faktor asentrik

Untuk melakukan perbandingan hasil antara gas ideal dengan gas nyata maka diperlukan faktor koreksi. Persamaan 2-13 merupakan persamaan gas ideal dengan faktor kompresibilitas. Faktor kompresibilitas yang didapatkan dari persamaan kubik pada model persamaan keadaan gas nyata.

$$pV = nZRT \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan:

p = Tekanan gas (Pa)

V = Volume sistem suatu gas (m<sup>3</sup>)

n = Jumlah mol gas (mol)

Z = Faktor kompresibilitas.

$R$  = Konstanta gas (8.314 J/mol.K)

$T$  = Temperatur absolut (K)

Faktor kompresibilitas dari masing-masing persamaan keadaan gas nyata seperti pada bentuk umum pada Persamaan 2-14. Nilai dari masing-masing konstanta pada masing-masing persamaan keadaan ditunjukkan pada Tabel 2.4. Faktor kompresibilitas didapatkan dari akar persamaan kubik dan diambil nilai  $Z$  dengan nilai yang tertinggi. Nilai  $A$  dan  $B$  masing-masing pada Persamaan 2-15 dan 2-16.

$$Z^3 - c_2 Z^2 + c_1 Z - c_0 = 0 \dots\dots\dots (2-14)$$

$$A = \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$B = \frac{\Omega_b p_r}{T_r} \dots\dots\dots (2-16)$$

dengan:

$Z$  = Faktor kompresibilitas.

$\Omega_a, \Omega_b$  = Konstanta persamaan kubik

$\alpha$  = Konstanta yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$

$p_r$  = Tekanan tereduksi gas (Pa)

$T_r$  = Temperatur tereduksi gas (K)

Tabel 2.4  
Konstanta pada masing-masing persamaan keadaan gas nyata

Persamaan Keadaan	Konstanta				
	$c_2$	$c_1$	$c_0$	$\Omega_a$	$\Omega_b$
van der Waals	$-B - 1$	$A$	$-AB$	0.42188	0.125
Redlich-Kwong	$-1$	$A - B - B^2$	$-AB$	0.42748	0.08664
Soave-Redlich-Kwong	$-1$	$A - B - B^2$	$-AB$	0.42748	0.08664
Peng-Robinson	$B - 1$	$A - 2B - 3B^2$	$AB - B^2 - B^3$	0.45724	0.07779

Sumber: Rao (2003)

## 2.12 Hipotesa

Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas maka didapatkan hubungan antara karakteristik pembentukan hidrat propana butana – karbon dioksida terhadap variasi persen karbon dioksida yang ikut tercampur. Karbon dioksida memiliki kontribusi khusus terhadap tekanan pembentukan hidrat. Hal ini dikarenakan karbon dioksida mampu membentuk dua struktur kristal pada hidrat. Ditambah karbon dioksida memiliki kelarutan yang baik dalam air, dengan mudah melarutnya dalam air, akan menyebabkan tersimpannya karbon dioksida dalam air, dan menurunkan tekanan awal. Terjadi perbedaan karakteristik antara hidrat propana butana, hidrat karbon dioksida dan hidrat karbon dioksida + propana butana.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Metode ini digunakan untuk menguji sekaligus mengamati secara langsung untuk mengetahui pengaruh kandungan karbon dioksida terhadap laju pembentukan hidrat, kapasitas penyimpanan hidrat, dan stabilitas hidrat. Kajian literatur dari berbagai sumber, baik berupa buku maupun jurnal yang terkait dengan penelitian ini digunakan untuk menambahkan informasi yang diperlukan.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitiannya dilaksanakan pada bulan Februari – Maret 2017.

### 3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang digunakan yaitu:

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian dan merupakan variasi yang ingin dilihat hubungannya dengan terhadap variable lain. Variabel bebas yang digunakan adalah variasi presentase kandungan karbon dioksida sebesar 0%, 25%, 50%, 75 % , 100 % volume LPG pada tekanan *crystalizer* 3 bar.

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak peneliti tentukan dan bergantung dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah laju pembentukan, stabilitas dan kapasitas penyimpanan hidrat campuran propana butana dengan karbon dioksida.

### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan dan nilainya dikondisikan konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Volume air demin yang dimasukkan pada *crystallizer* adalah 50 cm<sup>3</sup>.
- LPG (50% Gas propane dan 50% Gas Butana)

## 3.4 Bahan dan Alat Penelitian

### 3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Aquades

Aquades merupakan air yang sudah dimineralisasi (kandungan mineral dalam air sudah dihilangkan). Aquades seperti pada gambar 3.1 digunakan sebagai bahan untuk membuat hidrat gas yang dicampurkan bersama gas butana di dalam *crystallizer*.



Gambar 3.1 Aquades

Spesifikasi:

- Merk : HYDROBATT
- Kemurnian : 99%
- Resistansi : 100 x 10<sup>4</sup> Ω cm

## 2. ELPIJI (LPG)

Gas ELPIJI merupakan bahan bakar gas yang berasal dari minyak mentah yang diolah. Yang memiliki komposisi seperti dalam lampiran 2.



Gambar 3.2 ELPIJI

## 3. Es

Es digunakan untuk menjaga temperatur dalam cooling bath, agar cenderung konstan.



Gambar 3.3 Es batu

## 4. Garam

Pada gambar 3.4 menunjukkan garam yang digunakan sebagai bahan untuk membuat *cooling bath*. Dimana garam digunakan untuk menurunkan titik beku air.



Gambar 3.4 Garam

#### 5. Gas Karbon Dioksida

Pada gambar 3.5 menunjukkan gambar tabung gas karbon dioksida yang kandungannya ditunjukkan pada Lampiran 3.



Gambar 3.5 Tabung Karbon dioksida

#### 3.4.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. *Crystallizer*

*Crystallizer* digunakan sebagai tempat untuk membuat hidrat gas. *Crystallizer* berbentuk tabung berongga seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Crystallizer

Spesifikasi:

- Bahan : *Stainless steel*
- Volume :  $150 \text{ cm}^3/0.00015 \text{ m}^3$

2. Motor listrik

Motor listrik pada gambar 3.6 digunakan sebagai alat untuk memutar *crystallizer* sehingga gas dan air di dalam *crystallizer* tercampur.



Gambar 3.6 Motor listrik

**Spesifikasi:**

- Merk : Vema
- Tipe : Y2-712-4
- Fase : 3 fase
- Rangkaian :  $\Delta$ , Y
- Putaran max : 1370 rpm
- Tegangan : 220/380 V
- Daya : 0.5 Hp
- Frekuensi : 50 Hz

**3. Inverter**

Pada gambar 3.7 menunjukkan *inverter* yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor.



*Gambar 3.7 Inverter*

**Spesifikasi:**

- Merk : Telemecanique Altivar 31
- Tipe : ATV 31H018 M2A
- Fase : 1 fase ke 3 fase
- Tegangan : 200/240 V
- Daya : 0.25 Hp/0.18 kW

#### 4. Gelas ukur

Gelas ukur seperti pada gambar 3.8 digunakan untuk mengukur volume air aquades yang akan dimasukkan ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.8 Gelas ukur

Spesifikasi:

- Merk : PYREX
- Volume : 25 ml

#### 5. Regulator gas

Regulator gas seperti pada gambar 3.9 digunakan untuk mengatur tekanan gas yang keluar dari tabung ELPIJI.



Gambar 3.9 Regulator gas



41

Spesifikasi:

- Merk : FESTO
- Tekanan maks : 1 MPa

#### 6. Katup

Katup seperti pada gambar 3.10 digunakan untuk mengatur keluar masuknya gas ke dalam *crystallizer*.



Gambar 3.10 Katup

#### 7. Flowmeter gas

*Flowmeter gas* digunakan untuk mengukur besar volume aliran yang masuk ke dalam *crystalizer*.



Gambar 3.11 Flowmeter gas

Spesifikasi:

- Merk : Tekiro
- Tekanan max: 10 bar/140 psi

#### 8. *Thermocouple*

*Thermocouple* seperti pada gambar 3.12 digunakan sebagai sensor untuk mengambil data temperatur di dalam *crystallizer*.



Gambar 3.12 *Thermocouple*

Spesifikasi:

- Tipe : Pt
- Temperatur :  $-100^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$

#### 9. *Pressure sensor*

*Pressure sensor* seperti pada gambar 3.13 digunakan sebagai alat untuk mengambil data tekanan di dalam *crystallizer*.



Gambar 3.14 Pressure sensor

Spesifikasi:

- Merk : Autonics
- Model : PSAN-L1CA-R1/8
- Power : 12/24 V
- Tipe : Tekanan positif
- Tekanan : Max 1 MPa

10. Styrofoam

Styrofoam seperti pada gambar 3.15 digunakan sebagai tempat untuk *cooling bath*.



Gambar 3.15 Cooling bath

11. Mesin Pendingin

Mesin pendingin digunakan untuk menjaga temperatur *cooling bath*. Sesuai pada gambar 3.16



Gambar 3.16 Mesin Pendingin

## 12. Timbangan Elektrik

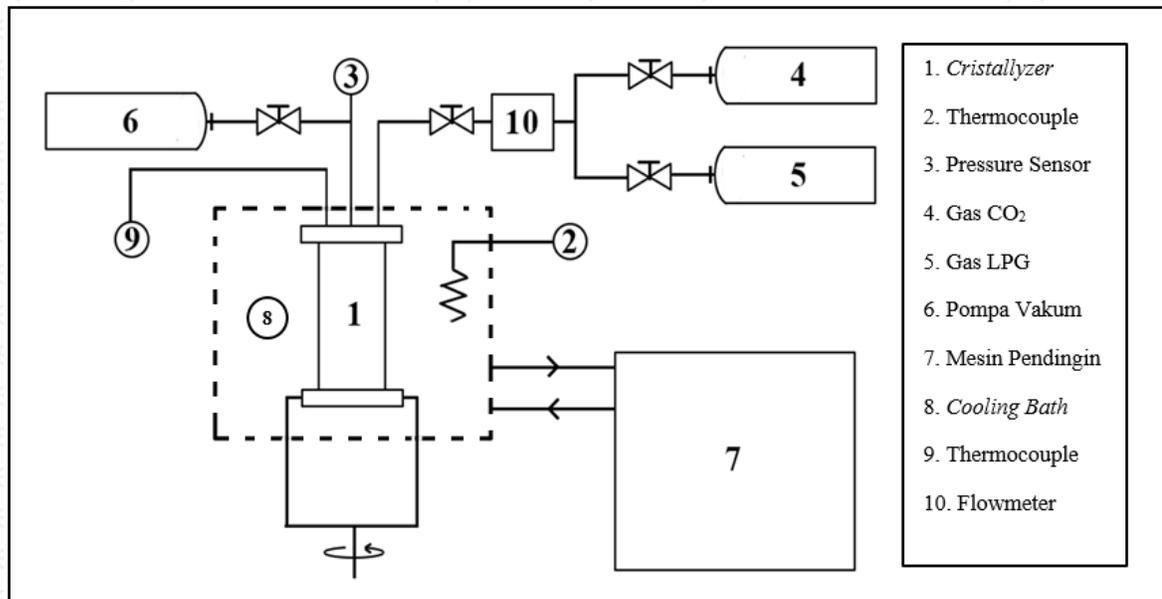
Timbangan Elektrik digunakan untuk mengukur massa dari *cristallyzer* dan gas.



Gambar 3.16 Timbangan Elektrik

### 3.5 Instalasi Alat Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Instalasi alat penelitian

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Persiapan Penelitian

1. Melakukan kalibrasi pada semua alat ukur yang digunakan
2. Melakukan pengecekan pada instalasi alat untuk memastikan keselamatan peneliti.
3. Mengondisikan cooling air dalam mesin pendingin agar cenderung konstan dalam temperatur 273 K dengan cara mencampurkan air tersebut dengan garam.
4. Menyiapkan air aquades, gas ELPIJI, dan gas karbon dioksida untuk dimasukkan kedalam *crystallizer*.
5. Memastikan *crystallizer* dalam kondisi bersih dan tidak ada kotoran.

#### 3.6.2 Pengambilan Data

##### 3.6.2.1 Laju Pembentukan Hidrat

1. Membuat *crystallizer* dalam keadaan vakum.
2. Menyiapkan 50 cm<sup>3</sup> air aquades dengan menggunakan gelas ukur. Kemudian dimasukkan ke dalam *crystallizer*.

3. Masukkan gas ELPIJI ke dalam *crystallizer* menggunakan flowmeter (1,75 liter/menit) hingga tekanan menunjukkan 0.3 MPa. Catat waktu pengisian 100% volume LPG tersebut (misal = a detik). Pada variasi 75% masukan dengan waktu  $3a/4$  detik, 50% dengan waktu  $a/2$  detik, 25% dengan waktu  $a/4$  detik.
4. Masukan gas karbon dioksida ke dalam *cristallyzer* menggunakan flowmeter (0.5 liter/menit) sesuai variasi. (Apabila *cristallyzer* terisi 75% volume gas propana butana, maka masukan 25% volume propana butana dengan gas karbon dioksida. Lakukan pada variasi lainnya dengan rasio total 100%).
5. Meletakkan *crystallizer* pada *cooling bath* setelah sistem mencapai kesetimbangan pada tekanan dan temperatur permulaan. Temperatur *cooling bath* diatur sehingga sesuai dengan temperatur pembentukan hidrat yaitu sebesar 274 K (1 °C) yang merupakan titik kesetimbangan 3 fase.
6. Mengatur kecepatan putaran *crystallizer* pada takometer sebesar 200 rpm.
7. Mengambil data temperatur, tekanan dan waktu selama pembentukan hidrat propana butana – karbon dioksida untuk mendapatkan data laju pembentukan hidrat.

### 3.6.2.2 Penguraian Hidrat

1. Menurunkan temperatur *cooling bath* menjadi 268 K (-5 °C). Setelah itu, sistem didiamkanselama 5 jam untuk mencapai kesetimbangan.
2. Membuka katup gas setelah sistem mencapai kesetimbangan. Pembukaan katup ini bertujuan untuk membuang gas sisa yang tidak menjadi hidrat.
3. Menutup katup gas sehingga sistem kembali terisolasi. Setelah itu, sistem didiamkan kembali selama 5 jam untuk proses dekomposisi hidrat.
4. Mengambil data tekanan dan waktu selama proses sistem mencapai kesetimbangan.

### 3.6.2.3 Kapasitas Penyimpanan Hidrat

1. Menghangatkan *crystallizer* pada temperatur ruang (300 K) sehingga hidrat mengalami dekomposisi dan melepas gas propana butana dan gas karbon dioksida yang terjebak pada hidrat.

2. Mengambil data tekanan, temperatur dan waktu gas hidrat yang terdekomposisi dengan menentukan tekanan maksimum di dalam *crystallizer*.
3. Mengulangi langkah pengambilan data pembentukan hidrat, penguraian hidrat dan kapasitas penyimpanan hidrat dengan merubah variasi % volume karbon dioksida yang masuk dalam *crystallizer*.

#### 3.6.2.4 Menentukan Nilai Mol Gas Awal

Dalam melakukan perhitungan untuk mencari laju pembentukan dibutuhkan jumlah mol awal gas yang masuk ke dalam *crystallizer*. Rumus untuk menentukan mol gas yang masuk adalah massa gas yang masuk dibagi dengan berat molekul relatif dari gas yang masuk. Untuk mendapatkan massa dari gas yang masuk diperlukan nilai densitas dan volume gas yang masuk. Gas yang masuk pada penelitian kali ini ialah campuran gas propana butana (LPG) dan atau gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Volume alir gas yang masuk didapatkan dari flowmeter. Untuk acuan, masukan gas propana butana. Volume alir pada flowmeter yang digunakan ialah 1,75 liter/menit. Alirkan hingga tekanan dalam *crystallizer* sebesar 0.3 Mpa. Catat waktu yang dibutuhkan. Dengan demikian volume yang masuk sebesar  $\frac{t}{60} \times 1.92$  L/menit untuk gas propana butana dan  $\frac{t}{60} \times 1.86$  L/menit untuk gas karbon dioksida. Nilai 1,92 dan 1.86 merupakan kalibrasi dari flowmeter untuk masing-masing gas yang dimasukkan. Kemudian densitas didapat dari pengukuran massa gas. Gas dimasukkan kedalam *crystallizer* yang memiliki volume 0.15 L lalu ditimbang dengan timbangan elektrik. Setelah itu timbang massa *crystallizer* tanpa gas. Selisih keduanya merupakan massa gas yang masuk. Didapatkan massa gas propane butana yaitu 0.3441 gram dan massa karbon dioksida 0.315 gram. Dengan membagi massa gas dengan volume *crystallizer* (0.15 L) maka didapat densitas masing-masing gas. Dengan demikian akan didapat massa gas yang masuk. Misal pada 25% kadar karbon dioksida dan 75% kadar propana butana. Mol 25% gas karbon dioksida sama dengan massa 25% gas karbon dioksida dibagi dengan berat molekul relatif gas karbon dioksida yaitu 44.01. Dan Mol 75% gas propana butana sama dengan massa 75% gas propana butana dibagi dengan berat molekul relatif gas propana butana yaitu 102. Dengan

demikian mol total awal ialah Mol 25% gas karbon dioksida ditambah Mol 75% gas propana butana.

### 3.6.3 Pengolahan Data

#### 1. Laju pembentukan hidrat

Pertama yaitu melakukan perhitungan mol dari laju pembentukan hidrat dengan menggunakan persamaan gas nyata dan persamaan gas dengan memasukkan volume gas yang didapat dari pengukuran *flowmeter*. Kemudian membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap tekanan dan temperatur pembentukan, serta membuat grafik laju pembentukan hidrat dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap konsumsi mol gas hidrateoritis dan aktual yang terbentuk.

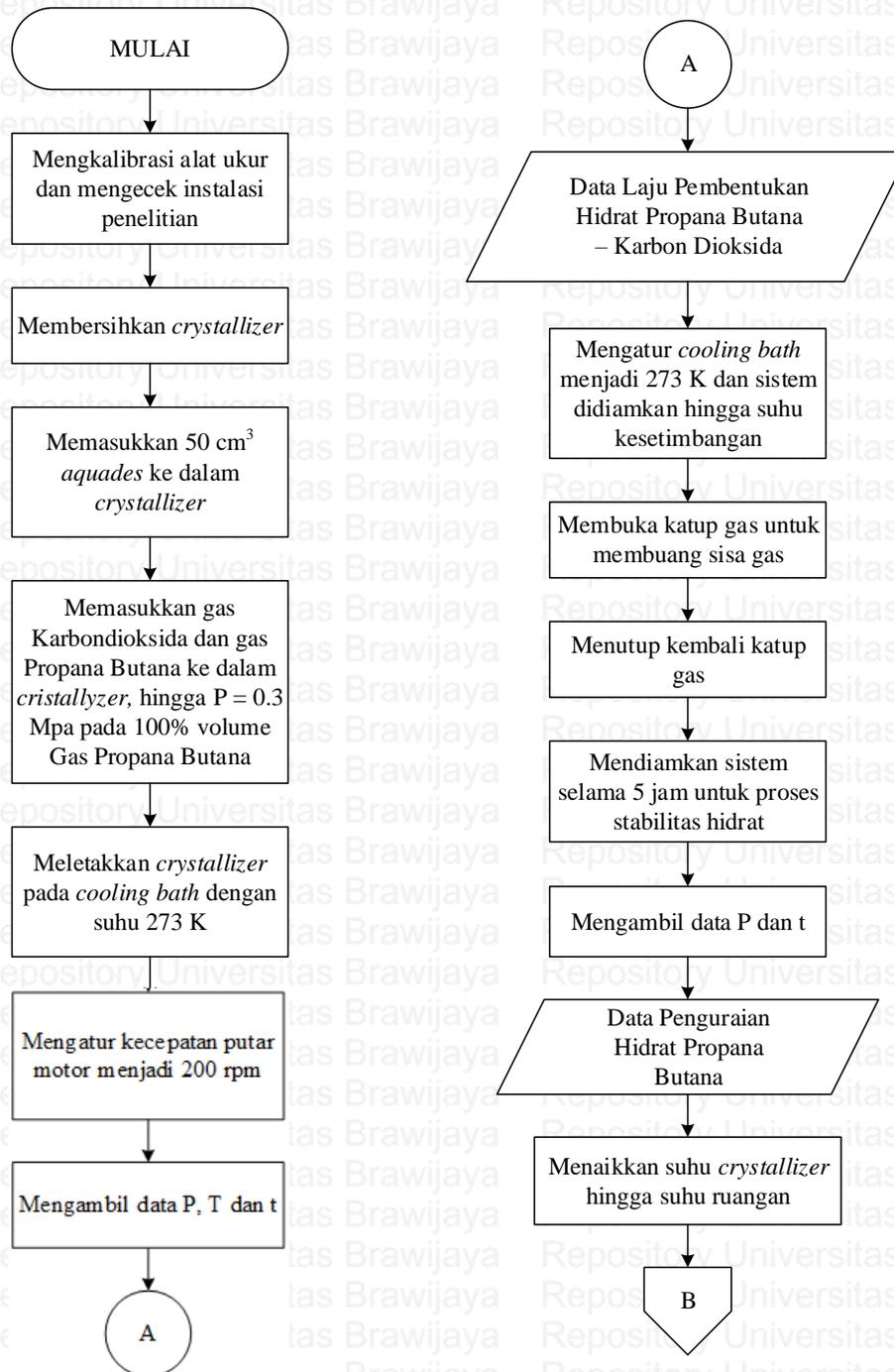
#### 2. Stabilitas hidrat

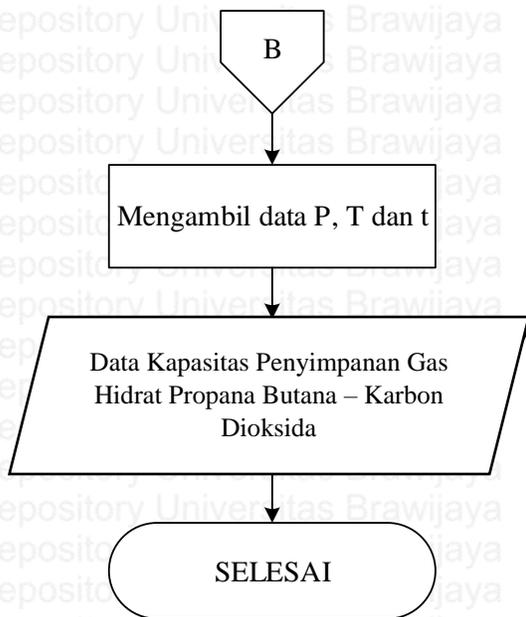
Pengolahan data untuk stabilitas hidrat yaitu dengan melakukan perhitungan mol gas menggunakan persamaan gas nyata pada setiap 15 menit, kemudian membuat grafik stabilitas gas hidrat propana butana dengan membandingkan pengaruh waktu terhadap mol gas yang terurai.

#### 3. Kapasitas penyimpanan hidrat

Pengolahan data untuk kapasitas penyimpanan hidrat dengan menghitung volume gas hidrat secara teoritis dan aktual setelah sistem mencapai suhu ruangan. Kemudian membuat diagram kapasitas penyimpanan hidrat dengan membandingkan antara volume gas hidrat yang mencapai suhu 27<sup>0</sup>C dengan volume gas hidrat secara teoritis.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

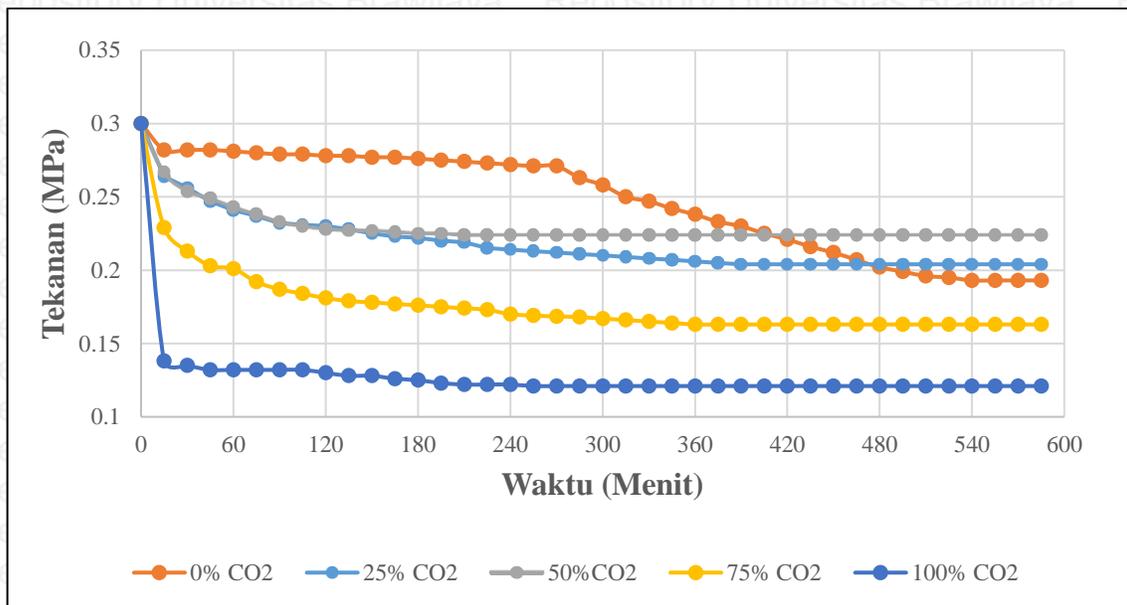


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1.1 Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari penelitian ini berupa waktu, tekanan dan temperatur. Digunakan untuk melihat pengaruh penambahan kandungan karbon dioksida (% volume) terhadap karakteristik pembentukan hidrat propana butana (LPG) sesuai dengan dasar teori dan hipotesa diatas. Pada bab ini akan membahas tentang data hasil penelitian, meliputi contoh perhitungan, grafik dan analisa grafik.

### 1.2 Data Hasil Pengujian

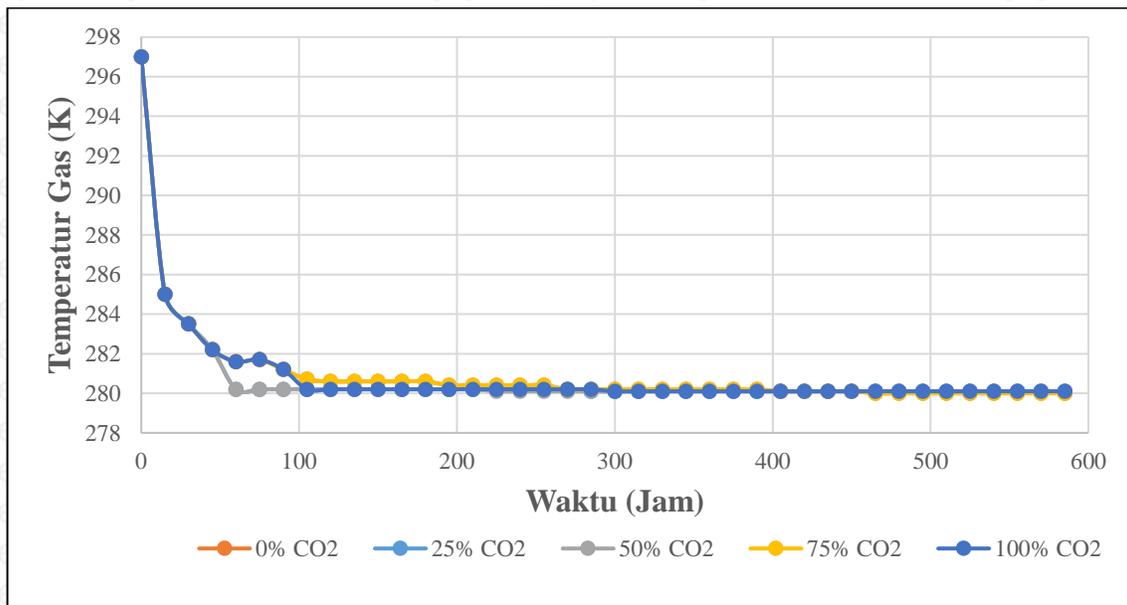


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu terhadap tekanan gas didalam *crystallizer* pada pembentukan hidrat

Grafik 4.1 menunjukkan hubungan antara waktu terhadap tekanan gas didalam *crystallizer* yang diambil untuk melihat laju pembentukan dari hidrat. Pada variasi 0% CO<sub>2</sub> dalam *crystallizer* memiliki penurunan tekanan awal yang paling rendah. Dan dengan 100% CO<sub>2</sub> memiliki penurunan tekanan yang paling tinggi.

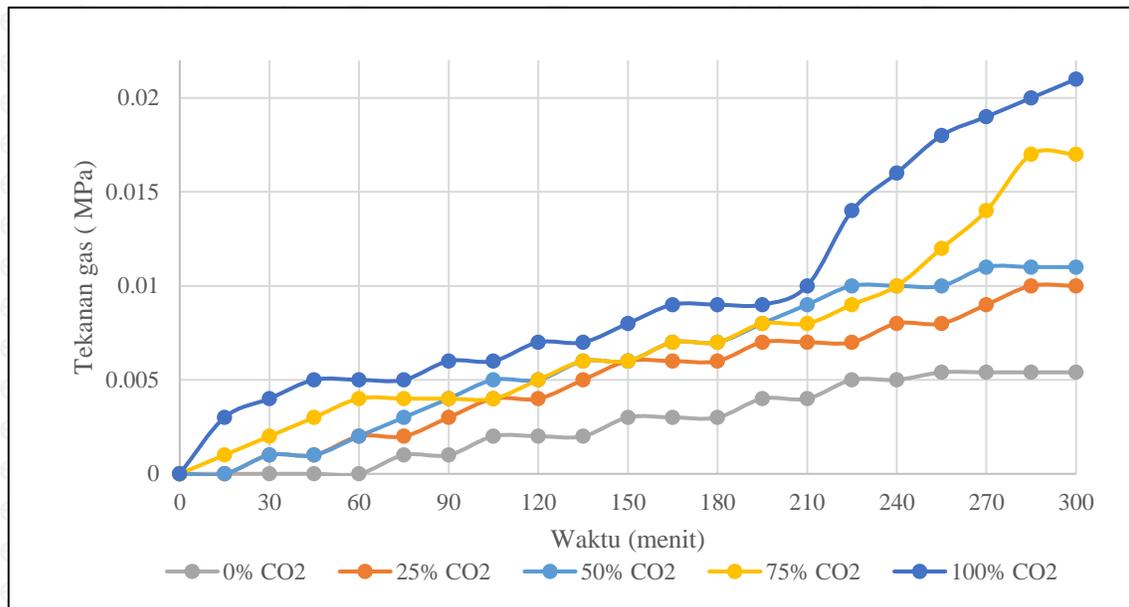
Terjadi perbedaan pada garis 0% CO<sub>2</sub> dimana terdapat dua kali penurunan tekanan, 0.271 Mpa merupakan titik awal penurunan tekanan yang kedua, penurunan tekanan yang pertama terjadi pada fase awal induksi. Hal ini disebabkan oleh terdapatnya dua kondisi yang

berbeda, dimana pada sebelum titik 0.271 fase pertama dimana fase yang terbentuk ialah berupa gas dan cair. Penurunan pada fase pertama menandai awal fase induksi dari hidrat, dimana campuran gas bercampur dan masih pada kondisi metastabil. Kemudian setelah titik 0.271 merupakan fase kedua dimana fase yang terbentuk ialah gas dan padat (es). Penurunan pada fase kedua menandai awal fase pertumbuhan hidrat, dimana inti dari hidrat sudah terbentuk dan mulai menurunkan tekanan secara signifikan.



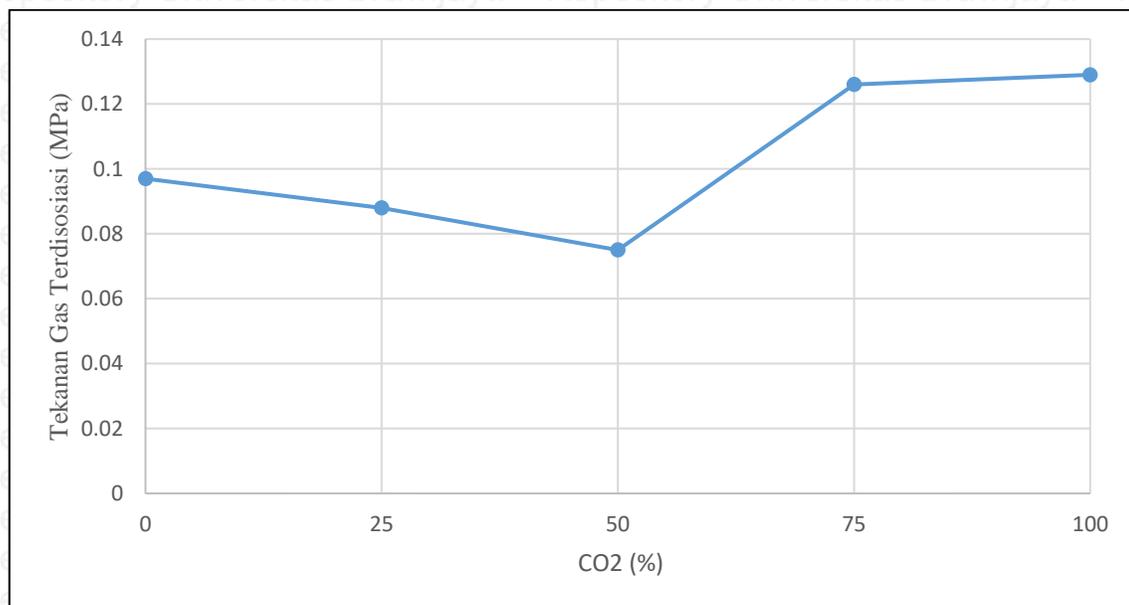
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu terhadap temperatur gas didalam *crystallizer* pada pembentukan hidrat

Grafik 4.2 menunjukkan hubungan antara waktu terhadap temperatur gas didalam *crystallizer* yang diambil untuk mendukung data laju pembentukan dari hidrat. Pada variasi 0% CO<sub>2</sub> dalam *cristallizer* memiliki rata-rata penurunan temperature yang relatif sama.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara waktu terhadap tekanan gas didalam *crystallizer* pada stabilitas hidrat

Grafik 4.3 menunjukkan hubungan antara waktu terhadap tekanan gas didalam *crystallizer* yang diambil untuk melihat data stabilitas dari hidrat. Pada variasi 0% CO<sub>2</sub> dalam *crystallizer* seiring bertambahnya waktu memiliki kemampuan menjaga tekanan paling baik. Kemudian kadar 25% CO<sub>2</sub>, 50% CO<sub>2</sub>, 75% CO<sub>2</sub> dan yang terakhir ialah 100% CO<sub>2</sub>.



Gambar 4.4 Diagram tekanan gas terdisosiasi terhadap persen volume karbon dioksida

Grafik 4.4 menunjukkan hubungan antara persen volume karbon dioksida terhadap tekanan gas terdisosiasi didalam *crystallizer* yang diambil untuk melihat data kapasitas dari hidrat. Tekanan tertinggi sebesar 0.129 MPa ketika diuraikan pada temperature ruang (300 K) pada kadar 100% CO<sub>2</sub>. Sedangkan tekanan yang paling rendah pada kadar 0% CO<sub>2</sub> sebesar 0.097 MPa.

### 4.3 Contoh Perhitungan

#### 4.3.1 Laju Pembentukan Campuran Gas Propana Butana + Gas Karbon dioksida

Contoh perhitungan konsumsi gas pembentukan hidrat pada waktu 600 menit dengan campuran 25% gas CO<sub>2</sub> dan 75% gas propana butana adalah sebagai berikut:

##### 1. Faktor Kompresibilitas Peng Robinson

- Titik kritis propana butana

Tabel 4.1

Tekanan kritis (P<sub>c</sub>) dan temperature kritis (T<sub>c</sub>) propana butana

No	Gas	P <sub>c</sub> (MPa)	T <sub>c</sub> (K)
1	Propana	4.25	370
2	n-Butana	3.8	425
3	Karbon dioksida	7.38	340

Tekanan kritis propana butana ditunjukkan pada table 4.1 dengan komposisi campuran gas antara 50% propana dan 50% butana sehingga tekanan kritis dan temperatur kritis yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{c1} &= \frac{P_B + P_P}{2} \\
 &= \frac{3.80 + 4.25}{2} \\
 &= 4.025 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tekanan kritis karbon dioksida ditunjukkan pada table 4.1 dengan komposisi gas karbon dioksida yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$P_{c2} = P_c \\ = 7.38$$

Dan tekanan kritis campuran propana butana dan karbon dioksida yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$P_{c\ total} = (75\% \times P_{c1}) + (25\% \times P_{c2}) \\ = (0.75 \times 4.025) + (0.25 \times 7.38) \\ = 4.83675\ MPa$$

Temperatur kritis propana butana ditunjukkan pada table 4.1 dengan komposisi campuran gas antara 50% propana dan 50% butana sehingga tekanan kritis dan temperatur kritis yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$T_{c1} = \frac{T_B + T_P}{2} \\ = \frac{370 + 425}{2} \\ = 397.5\ K$$

Temperatur kritis karbon dioksida ditunjukkan pada table 4.1 dengan komposisi gas karbon dioksida yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$T_{c2} = T_c \\ = 304\ K$$

Dan tekanan kritis campuran propana butana dan karbon dioksida yang digunakan ialah sebagai berikut:

$$T_{c\ total} = (75\% \times T_{c1}) + (25\% \times T_{c2}) \\ = (0.75 \times 397.5) + (0.25 \times 304) \\ = 374.125\ K$$

- Tekanan tereduksi ( $P_r$ ) dan temperature tereduksi ( $T_r$ ) campuran propana butana dan karbon dioksida

$$P_r = \frac{P_{t=600}}{P_{c \text{ total}}}$$

$$= \frac{0.204 \text{ MPa}}{4.83675 \text{ MPa}}$$

$$= 0.04194$$

$$T_r = \frac{T_{t=600}}{T_{c \text{ total}}}$$

$$= \frac{280.1 \text{ K}}{374.125 \text{ K}}$$

$$= 0.74868$$

- Faktor Asentrik ( $\omega$ )

$$\omega = -1 - \log p_r$$

$$= -1 - \log 0.04194$$

$$= 0.37734$$

- Koefisien yang dipengaruhi  $P_r$  dan  $T_r$  ( $\alpha$ )

$$\alpha = \{1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2$$

$$= \{1 + (0.37464 + 1.54226 \times 0.37734 - 0.2699 \times 0.37734^2)(1 - 0.74868^{0.5})\}^2$$

$$= 1.26273$$

- Persamaan keadaan Peng Robinson

$$A = \frac{\Omega_a \alpha p_r}{T_r^2}; \Omega_a = 0.45724$$

$$= \frac{0.45724 \times 1.26273 \times 0.04194}{0.74868^2}$$

$$= 0.04320$$



$$B = \frac{\Omega_b p_r}{T_r}; \Omega_a = 0.07779$$

$$= \frac{0.07779 \times 0.04194}{0.74868}$$

$$= 0.00436$$

Bentuk persamaan keadaan Peng Robinson ditunjukkan pada Persamaan 4-1.

$$Z^3 + c_2 Z^2 + c_1 Z + c_0 = 0 \quad (4-1)$$

dengan:

$Z$  = Faktor kompresibilitas

$C_{2,1,0}$  = Konstanta pada persamaan keadaan Peng Robinson

$$c_2 = B - 1$$

$$= 0.00436 - 1$$

$$= -0.99564$$

$$c_1 = A - 2B - 3B^2$$

$$= 0.04320 - 2 \times 0.00436 - 3 \times 0.00436^2$$

$$= 0.03443$$

$$c_0 = AB - B^2 - B^3$$

$$= 0.04320 \times 0.00436 - 0.00436^2 - 0.00436^3$$

$$= 0.00017$$

- Determinan persamaan keadaan Peng Robinson

$$K = \frac{3c_2 - c_1^2}{3}$$

$$= \frac{3 \times (-0.99564) - 0.04320^2}{3}$$

$$= -0.99604$$

$$L = \frac{2c_2^3 - 9c_2c_1 + 27c_0}{27}$$

$$= \frac{2(-0.99564)^3 - 9(-0.99564)(0.03443) + 27(0.00017)}{27}$$

$$= 0.08503$$

$$D = \frac{K^3}{27} + \frac{L^2}{4}$$

$$= \frac{-0.99604^3}{27} + \frac{0.08503^2}{4}$$

$$= -0.03479$$

- Faktor kompresibilitas (Z)

$$\Phi = \cos^{-1} \left( -\sqrt{\frac{L^2/4}{K^3/27}} \right)$$

$$= 1.34670$$

$$Z_1 = 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos \Phi - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2 \sqrt{\frac{-(-0.99604)}{3}} \cos(1.34670) - \frac{(-0.99564)}{3}$$

$$= 0.58797$$

$$Z_2 = 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos(\Phi + 120) - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2 \sqrt{\frac{-(-0.99604)}{3}} \cos(1.34670 + 120) - \frac{(-0.99564)}{3}$$

$$= -0.11199$$

$$Z_3 = 2 \sqrt{\frac{-K}{3}} \cos(\Phi + 240) - \frac{C_2}{3}$$

$$= 2 \sqrt{\frac{-(-0.99604)}{3}} \cos(1.34670 + 240) - \frac{(-0.99564)}{3}$$

$$= -0.64699$$

Faktor kompresibilitas yang digunakan untuk pembentukan hidrat campuran

75% propana butana dan 25% karbon dioksida selama 600 menit sebesar 0.58797.

## 2. Volume gas

$$\begin{aligned} Y &= 6.6855x + 80.567 \\ &= 6.6855 \times (2.04) + 80.567 \\ &= 0.0000942 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

## 3. Perhitungan konsumsi mol gas

$$\begin{aligned} n &= \frac{P \times V}{Z \times R \times T} \\ n &= \frac{(P_{t=0} - P_{t=600}) \times Y}{Z \times R \times T_{t=600}} \\ n &= \frac{2.04 \times 0.00009367}{0.58797 \times 8.31447 \times (280)} \\ n &= 0.00660 \text{ mol} \end{aligned}$$

Keterangan :

Konstanta Avogadro :  $R (83.1447 \text{ cm}^3 \frac{\text{bar}}{\text{mol K}})$

n : Jumlah konsumsi gas propana butana (mol)

### 1.3.2 Kapasitas Penyimpanan Campuran Gas Propana Butana + Gas Karbon dioksida

Contoh perhitungan kapasitas penyimpanan hidrat pada waktu 300 menit dengan campuran 25% gas CO<sub>2</sub> dan 75% gas propana butana. Kapasitas penyimpanan gas adalah volume yang terdesosiasi hingga suhu ruangan dengan volume gas secara teoritis dengan volume air 50 cm<sup>3</sup>. Adalah sebagai berikut:

- Perhitungan Massa Air

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 1 \text{ gr/cm}^3 \times 50 \text{ cm}^3$$

$$m = 50 \text{ gr}$$

- Perhitungan mol air (H<sub>2</sub>O)

$$n_h = \frac{m}{M_r(\text{H}_2\text{O})}$$

$$n_h = \frac{50}{18}$$

$$n_h = 2.78 \text{ mol}$$

- Perhitungan massa dari campuran gas propana butana dan gas karbon dioksida yang dapat menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air seberat 50 gr.

$$m_g = m \times 15.5 \%$$

$$m_g = 50 \text{ gr} \times 0.155$$

$$m_g = 7.75 \text{ gr}$$

$$m_g = 75\% (m_{\text{LPG}}) + 25\% (m_{\text{CO}_2})$$

$$7.75 = 75\% (m_{\text{LPG}}) + 25\% (m_{\text{CO}_2})$$

$$m_{\text{LPG}} = 5.8125 \text{ gr}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 1.9375 \text{ gr}$$

- Perhitungan mol gas dari campuran gas propana butana dan karbon dioksida yang bias menjadi hidrat secara teoritis menggunakan massa air seberat 50 gr.

$$n_t = \frac{m_{\text{LPG}}}{M_r(\text{LPG})} + \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_r(\text{CO}_2)}$$

$$n_t = \frac{5.8125}{102} + \frac{1.9375}{44.01}$$

$$n_t = 0.05698 + 0.044024$$

$$n_t = 0.101 \text{ mol}$$

- Perhitungan volume gas hidrat propana butana secara teoritis

$$V_t = \frac{n_t}{P_t}$$

$$V_t = \frac{0.101}{1.01325}$$

$$V_t = 0.0996 \text{ cm}^3$$

- Perhitungan volume campuran gas propana butana dan karbon dioksida secara actual menggunakan persamaan gas nyata.

$$n = \frac{P V}{Z R T}$$

Dapat diasumsikan bahwa nilai Z, R dan T campuran gas propana butana dan karbon dioksida aktual maupun teoritis dalam keadaan standar yaitu tekanan 1 atm dan temperatur 27 °C teoritis adalah sama.

$$V_a = \frac{n_a}{P_p}$$

$$V_a = \frac{0.006601}{0.2245}$$

$$V_a = 0.02939 \text{ cm}^3$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan hidrat campuran gas hidrat propana butana dan karbon dioksida

$$K_p = \frac{V_a}{V_t}$$

$$K_p = \frac{0.02939}{0.09968}$$

$$K_p = 0.29486 \text{ V/V}$$

- Perhitungan volume gas hidrat propana butana secara actual menggunakan volume gas yang mengalir pada flowmeter. Didapatkan volume gas yang mengalir pada flowmeter menggunakan debit 0.81 L/Min selama 32 detik. Maka volume actual nya adalah :

$$\begin{aligned}
 V_a &= \frac{t}{60} \times 0.81 \frac{L}{min} \\
 &= \frac{32}{60} \times 0.81 \frac{L}{min} \\
 &= 0.02895 \text{ L}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan kapasitas penyimpanan gas hidrat propana butana actual menggunakan flowmeter

$$Kp = \frac{V_a}{V_t}$$

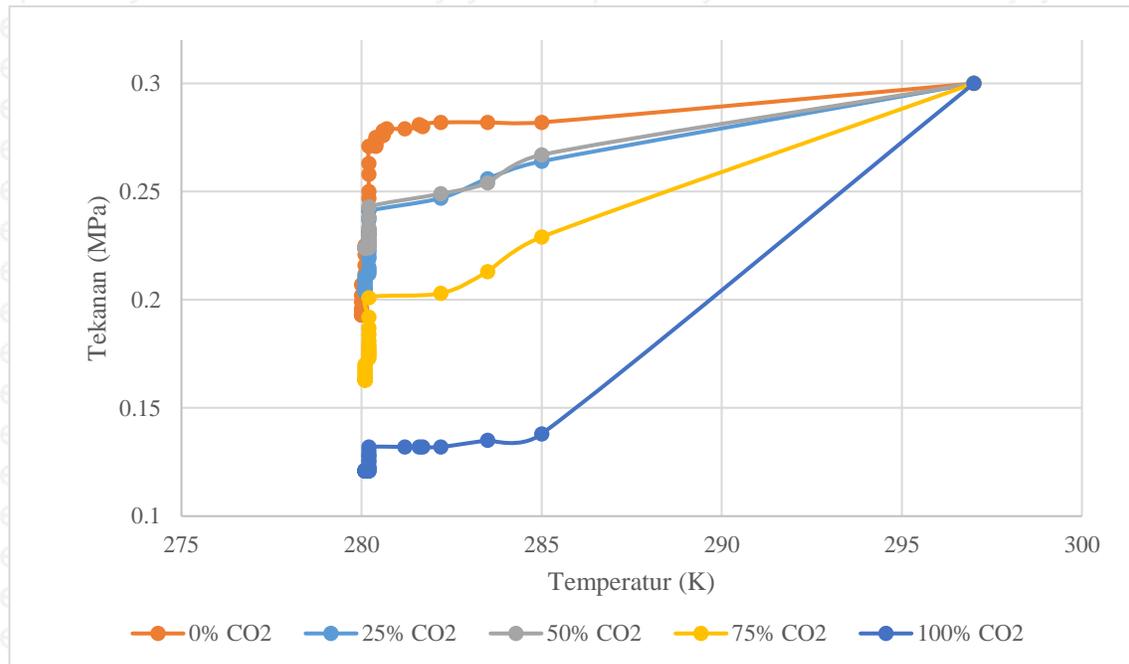
$$Kp = \frac{0.002895}{0.099688}$$

$$Kp = 0.290369 \text{ V/V}$$

#### 4.4 Pembahasan

##### 4.4.1 Analisa Laju Pembentukan Hidrat Propana Butana + Karbon dioksida dengan Variasi Persen Volume Karbon Dioksida

##### 4.4.1.1 Analisa Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Temperatur Gas Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat

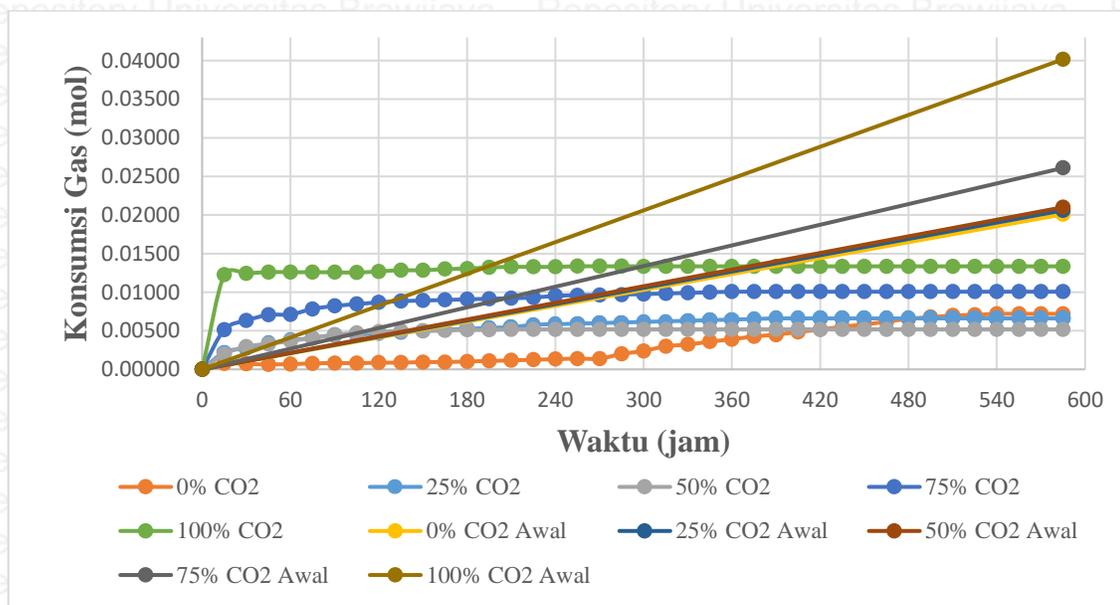


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Temperatur Gas Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat

Gambar 4.5 adalah hubungan tekanan dan temperatur gas pada laju pembentukan hidrat di setiap persen volume karbon dioksida. Dari gambar diatas terlihat bahwa pada variasi 100% CO<sub>2</sub> memiliki penurunan tekanan yang paling tinggi kemudian 75% CO<sub>2</sub>, 25% CO<sub>2</sub>, 50% CO<sub>2</sub>, dan yang paling rendah pada variasi 0% CO<sub>2</sub>. Pada proses pembentukan hidrat akan melewati dua fase, yaitu fase induksi dan fase pertumbuhan hidrat. Pada waktu induksi ditandai dengan adanya penurunan tekanan secara linier karena adanya penyesuaian temperatur awal dalam cristallyzer dan temperatur cooling bath. Pada fase pertumbuhan hidrat ditandai dengan adanya penurunan tekanan yang drastis dan temperatur yang relatif konstan. Dengan adanya karbon dioksida dalam campuran gas mampu menurunkan tekanan pada awal fase induksi, namun pada kandungan 25% CO<sub>2</sub> memiliki kemampuan menurunkan tekanan awal fase induksi dibandingkan 50% CO<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan pada fase induksi

merupakan fase dimana masuknya gas ke dalam rongga pada molekul air. Dengan banyaknya persen karbon dioksida dalam cristallyzer maka semakin banyak tekanan induksi awal yang turun. Dikarenakan karbon dioksida memiliki kelarutan lebih baik dengan air dibanding metana (hidrat hidrokarbon), namun pada kondisi 50% CO<sub>2</sub> dan 50% propana butana molekul karbon dioksida tidak berfungsi sebagai penurun tekanan sistem. Hal ini menunjukkan stuktur yang dibentuk oleh karbon dioksida berbeda-beda. Bahwa pada persen kandungan tersebut memiliki tekanan sistem yang meningkat. Dengan demikian pada variasi tersebut terbentuk stuktur kubus II.

#### 4.4.1.2 Analisa Grafik Hubungan Antara Konsumsi Gas dan Waktu Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat



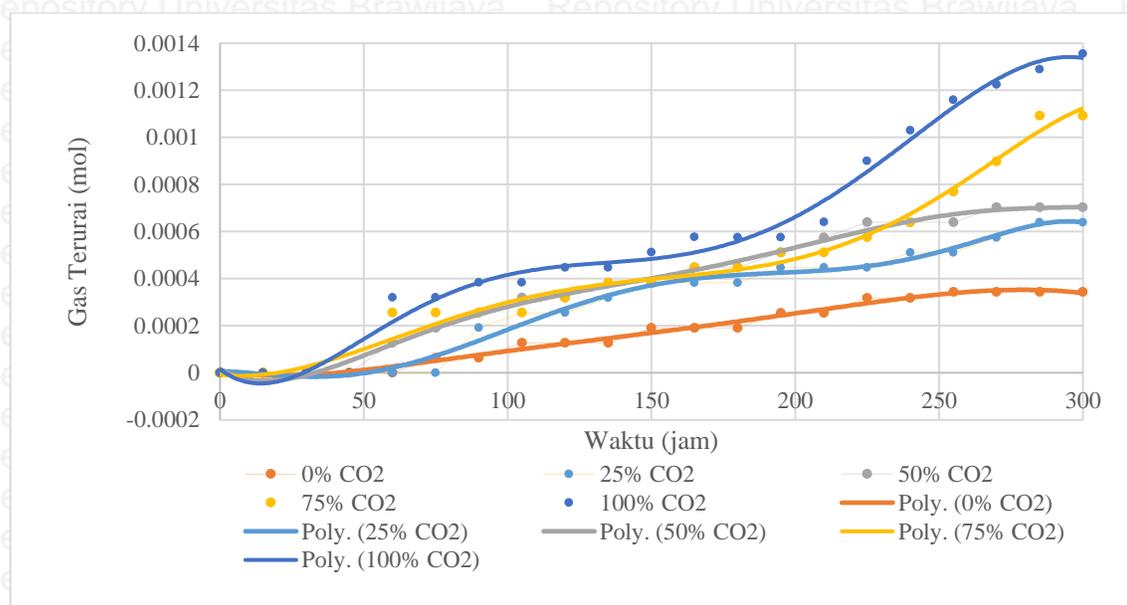
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Konsumsi Gas dan Waktu Pada Saat Laju Pembentukan Hidrat

Gambar 4.6 merupakan grafik hubungan antara konsumsi gas dan waktu pada saat laju pembentukan hidrat dengan variasi persen karbon dioksida sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% volume CO<sub>2</sub>. Konsumsi gas ialah besarnya gas yang terbentuk hidrat (mol) selama proses pembentukan hidrat. Pada gambar 4.7 nilai konsumsi gas yang paling besar terdapat pada variasi 100% CO<sub>2</sub>. Proses pembentukan yang diawali pada temperatur ruang (297 K)

menggambarkan bahwa penurunan tekanan yang drastis yang terjadi pada 100% karbon dioksida merupakan fase induksi terbentuknya hidrat karbon dioksida, dimana hidrat karbon dioksida akan stabil terbentuk pada temperatur 220 K. Sedangkan besar konsumsi gas yang paling kecil terjadi pada variasi 0% CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya karbon dioksida yang dikandung akan mempercepat turunnya tekanan gas, semakin cepat turun tekanan gas menandakan konsumsi gas semakin tinggi. Pada campuran 50% CO<sub>2</sub> dan 50% propane butana menunjukkan tekanan optimum dari campuran karbon dioksida dan propane butana. Hal ini menunjukkan struktur yang dibentuk oleh karbon dioksida berbeda-beda. Bahwa pada persen kandungan tersebut memiliki tekanan sistem yang meningkat. Dengan demikian pada variasi tersebut terbentuk struktur kubus II.

#### 4.4.2 Analisa Stabilitas Hidrat Propana Butana dengan Variasi Persen Volume Karbon Dioksida

##### 4.4.2.1 Analisa Grafik Hubungan Gas Terurai dan Waktu Pada Saat Stabilitas Hidrat



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Gas Terurai dan Waktu Pada Saat Stabilitas Hidrat

Gambar 4.7 adalah grafik hubungan gas yang terurai terhadap waktu pada stabilitas hidrat. Stabilitas hidrat adalah suatu kemampuan hidrat untuk mempertahankan strukturnya agar tidak terdisosiasi menjadi gas dan cair. Hidrat campuran propane butana dan karbon

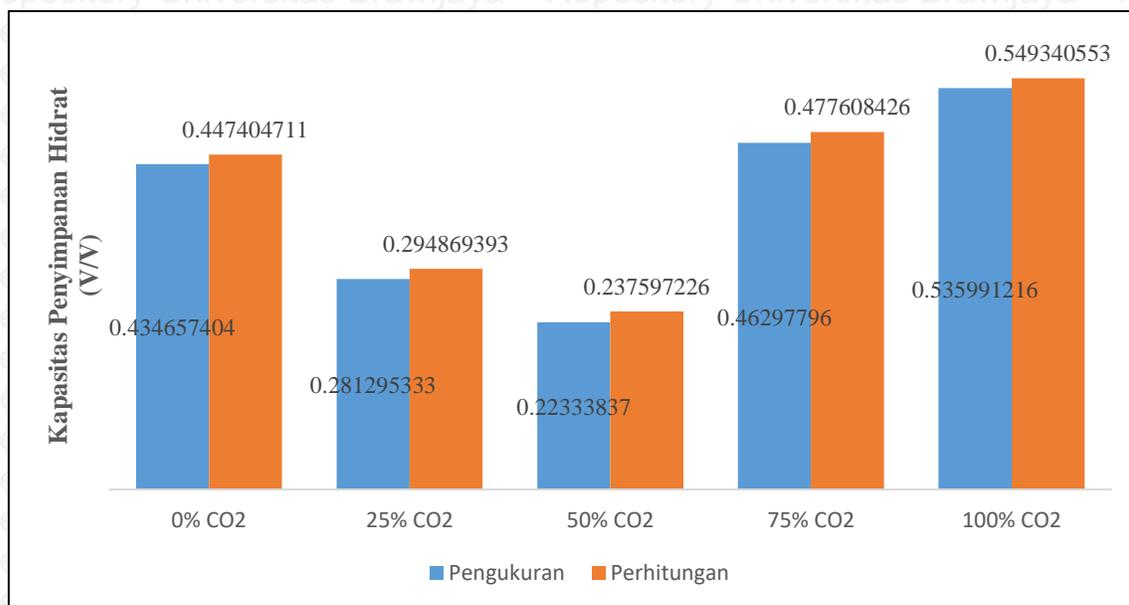
dioksida sebesar 100% CO<sub>2</sub> lebih mudah terurai daripada 75%, 50%, 25% dan 0% CO<sub>2</sub>. Sedangkan pada variasi 0% CO<sub>2</sub> paling sedikit terurai pada temperatur 268 K.

Semakin mudah hidrat mengurai menandakan bahwa hidrat tersebut memiliki stabilitas yang tidak baik, dan sebaliknya. Stabilitas hidrat dipengaruhi oleh dua faktor. Yaitu suatu fenomena yang biasa disebut *self-preservation* yang merupakan pemeliharaan dari bentuk hidrat. Dimana terdapat lapisan es yang terbentuk selama pembentukan hidrat. Yang kedua, penguraian pada *crystallizer* terjadi pada sistem yang tertutup. Gas propana butana dan karbon dioksida yang terurai akan menaikkan tekanan pada *crystallizer*.

Pengujian stabilitas hidrat dilakukan dengan menurunkan temperatur cooling bath menjadi 268 K. Yang kemudian di amati berapa kenaikan tekanan yang di alami selama 5 jam. Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas 0% CO<sub>2</sub> memiliki stabilitas paling baik, hal ini dikarenakan adanya karbon dioksida pada akan mengurangi kekuatan kristal hidrat. Dengan tidak adanya karbon dioksida, akan menambah kemampuan stabilitas suatu hidrat.

#### 4.4.3 Analisa Kapasitas Penyimpanan Hidrat Propana Butana + Karbon dioksida dengan Persen Volume Karbon Dioksida

##### 4.4.3.1 Analisa Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat Pengukuran dan Perhitungan



Gambar 4.8 Diagram Kapasitas Penyimpanan Hidrat

Gambar 4.8 adalah diagram kapasitas penyimpanan hidrat campuran gas propana butana dan gas karbon dioksida dengan variasi persen volume karbon dioksida sebesar 0% CO<sub>2</sub>, 25% CO<sub>2</sub>, 50% CO<sub>2</sub>, 75% CO<sub>2</sub>, dan 100% CO<sub>2</sub>. Dimana kapasitas penyimpanan ialah kemampuan hidrat dalam menyimpan gas bermolekul ringan. Semakin banyak gas yang tersimpan dalam hidrat menandakan semakin banyak konsumsi gas dalam hidrat dan berarti kapasitas penyimpanannya semakin besar. Ada dua jenis kapasitas penyimpanan, yaitu kapasitas penyimpanan perhitungan dan kapasitas penyimpanan pengukuran. Kapasitas penyimpanan perhitungan hidrat didapatkan dari perbandingan antara volume gas dari hidrat yang terurai dalam cristallyzer ( $V_a$ ) dengan volume gas tersebut dalam keadaan standar (1 atm, 300 K). Kapasitas penyimpanan paling besar ialah pada variasi 100% CO<sub>2</sub> sebesar 0.549340553 V/V.

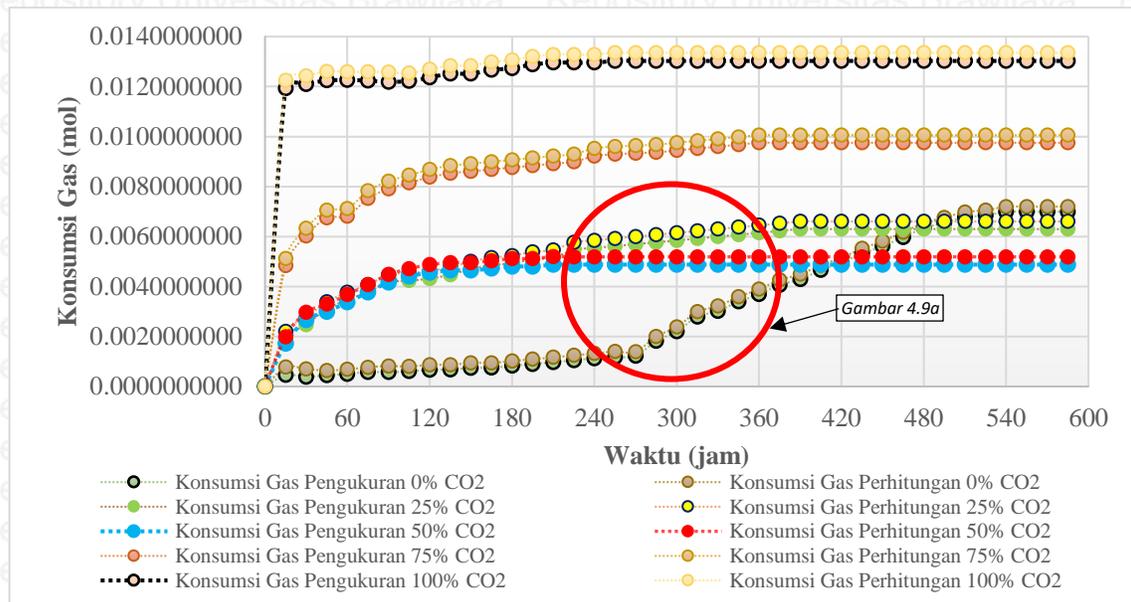
Hal ini dikarenakan karbon dioksida memiliki kemampuan menurunkan tekanan sistem yang lebih baik, ditambah kelarutannya dalam air lebih baik dibanding senyawa metana dalam hal ini dibanding propana butana. Dengan semakin baiknya dalam menurunkan tekanan berarti hidrat yang terbentuk mampu menampung hidrat yang lebih besar, dan berarti memiliki kapasitas penyimpanan yang besar. Namun, pada kandungan karbon dioksida 50% telah menandakan bahwa pada persen volume tersebut merupakan daerah dimana karbon dioksida menurunkan tekanan kemudian menaikkan tekanan, karena hidrat karbon dioksida dapat membentuk dua macam struktur yaitu struktur kubus I dan struktur kubus II.

Sedangkan kapasitas penyimpanan pengukuran berbeda, kapasitas penyimpanan hidrat yang digunakan pada yaitu  $V_a$  didapatkan dari flowmeter pada saat pengujian. Gas yang terurai akan dibuang menggunakan flowmeter dan dihitung volumenya.

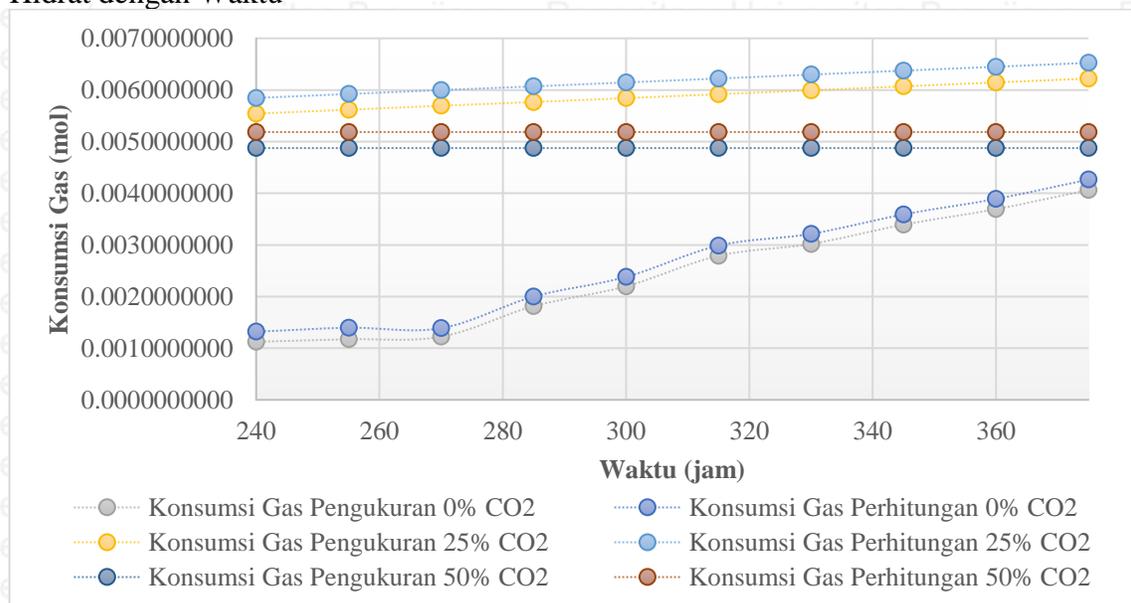
Kemudian akan didapatkan perbedaan nilai kapasitas penyimpanan dengan menggunakan flowmeter dan dengan menggunakan konsumsi gas yang menjadi hidrat dalam cristallyzer. Dengan mengetahui perbedaannya kita dapat menyimpulkan bahwa benar nilai yang terkandung dalam kapasitas penyimpanan. Nilai kapasitas penyimpanan pengukuran lebih kecil, diakibatkan oleh adanya losses yang dialami oleh gas hidrat yang keluar, baik itu pada saluran menuju flowmeter dan pada flowmeter.

#### 4.4.4 Analisa Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis Perhitungan dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat Pengukuran dengan Waktu

##### 4.4.4.1 Analisa Grafik Validasi Perbandingan antara Konsumsi Gas Perhitungan dan Konsumsi Gas Pengukuran Hidrat dengan Waktu

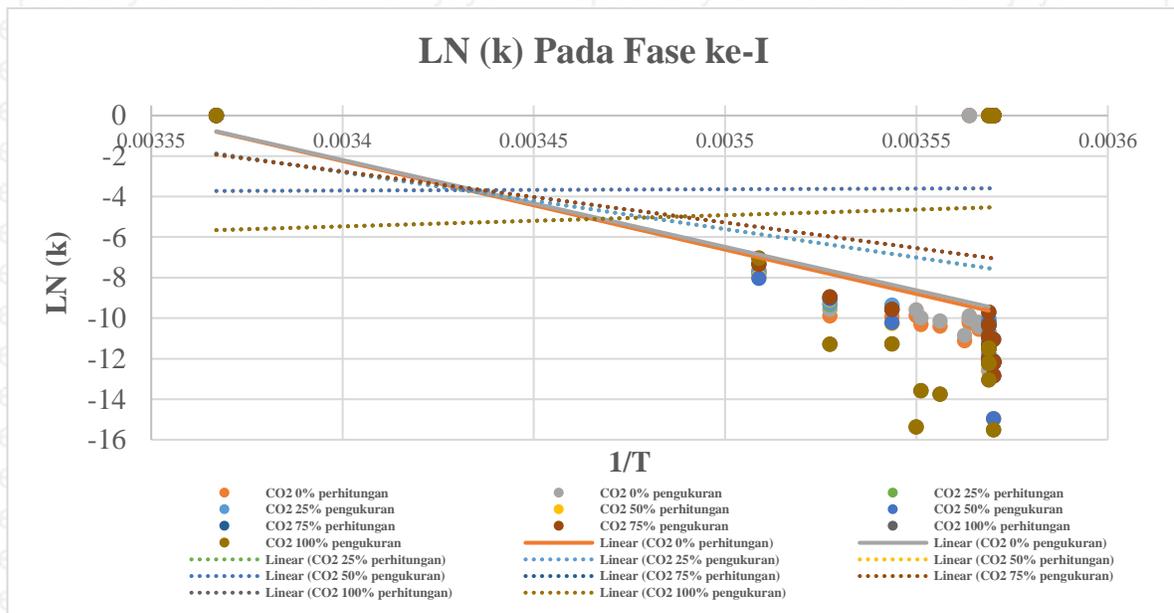


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat dengan Waktu

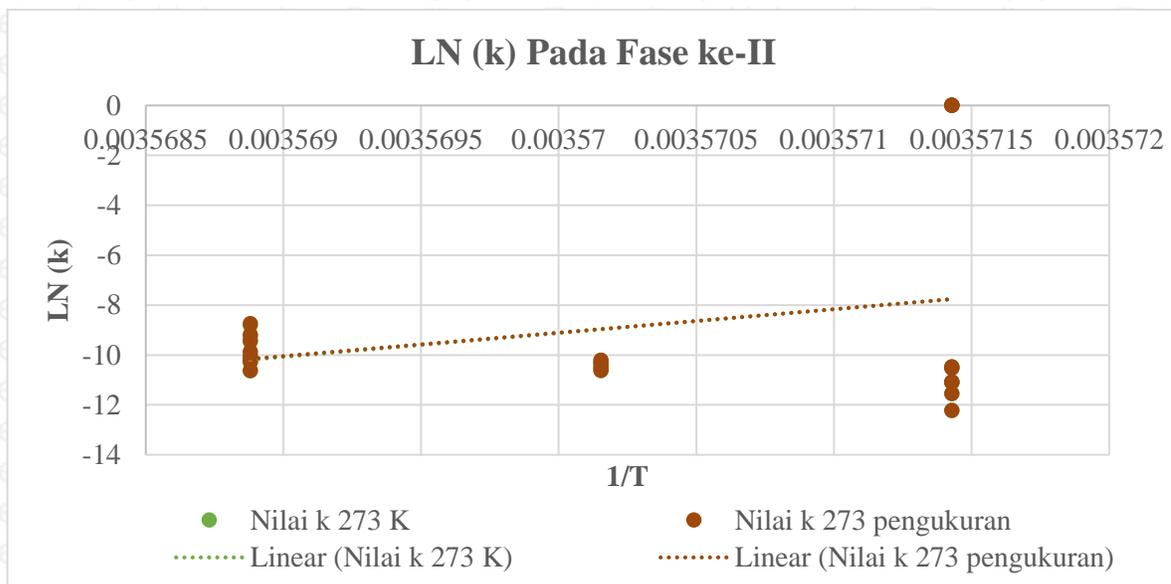


Gambar 4.9a Perbesaran Grafik Perbandingan antara Konsumsi Gas Teoritis dan Konsumsi Gas Aktual Hidrat dengan Waktu

Gambar 4.9 adalah grafik perbandingan antara konsumsi gas perhitungan dan konsumsi gas pengukuran. Dimana nilai konsumsi gas perhitungan berdasarkan dengan perhitungan menggunakan persamaan gas nyata. Sedangkan konsumsi gas pengukuran didapatkan dari jumlah gas yang terurai pada kapasitas penyimpanan. Pada gambar diatas nilai konsumsi gas perhitungan lebih besar dibandingkan nilai konsumsi gas pengukuran. Terjadi perbedaan pada variasi 0% CO<sub>2</sub>. Dimana pada garis tersebut terjadi dua kali proses kenaikan konsumsi. Seperti yang telah dijelaskan pada analisa grafik 4.1. Faktor yang membuat nilai pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan nilai gas ialah adanya faktor k. Faktor k merupakan konstanta kecepatan pembentukan hidrat yang dipengaruhi oleh waktu, tekanan, dan temperatur. Yang ditunjukkan dari grafik dibawah ini.



Gambar 4.10 Grafik nilai k pada fase pertama



Gambar 4.11 Grafik nilai k pada fase kedua

Gambar diatas menunjukkan nilai k dari masing-masing variasi, dimana nilai k pengukuran selalu lebih tinggi dari pada nilai k perhitungan. Hal ini menyebabkan konsumsi gas pengukuran akan lebih kecil dibandingkan dengan nilai konsumsi gas perhitungan karena semakin besar nilai k maka faktor kecepatan pembentukan dari hidrat akan semakin besar pula. Dengan naiknya nilai faktor kecepatan pembentukan hidrat maka gas yang dikonsumsi akan semakin sedikit. Pada variasi 0% karbon dioksida terdapat dua kali peningkatan konsumsi gas, hal ini menandakan pada variasi tersebut terdapat dua macam k atau kecepatan pembentukan hidrat yang ditunjukkan pada fase kedua atau gambar 4.13. Hal ini disebabkan oleh adanya dua fase yang dialami oleh hidrat pada saat laju pembentukan hidrat, fase yang pertama yaitu waktu induksi dimana fase hidrat menunjukkan fase gas dan cair, dan fase yang kedua menunjukkan bahwa hidrat dalam fase gas dan padat.

Pada Gambar 4.8 terdapat nilai mol gas awal secara aktual pada saat laju pembentukan hidrat. Oleh karena itu maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$n_{awal} = n_{os} + n_{KP} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$n_{os} = n_{awal} - n_{KP} \dots\dots\dots (4-3)$$

Dimana :

$n_{awal}$  = Jumlah mol gas pada awal sebelum laju pembentukan hidrat dimulai

$n_{os}$  = Jumlah mol gas yang tidak menjadi hidrat dan dibuang pada saat data stabilitas hidrat akan diambil

$n_{KP}$  = Jumlah mol gas yang menjadi hidrat dan ada pada kapasitas penyimpanan hidrat

Dari persamaan diatas menunjukkan bahwa jumlah mol yang tidak menjadi hidrat sama dengan jumlah mol awal dikurangi dengan jumlah mol yang dikonsumsi pada saat pembentukan hidrat. Berikut merupakan nilai konsumsi gas perhitungan pada masing-masing variasi; 0% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00719, 25% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00660, 50% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00519, 75% CO<sub>2</sub> sebesar 0.01006, dan 100% CO<sub>2</sub> sebesar 0.01335. dan berikut merupakan nilai konsumsi gas pengukuran pada masing-masing variasi; 0% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00669, 25% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00629, 50% CO<sub>2</sub> sebesar 0.00487, 75% CO<sub>2</sub> sebesar 0.0975, dan 100% CO<sub>2</sub> sebesar 0.01302.

Dengan menggunakan persamaan yang ada diatas dan mengacu pada hasil yang didapatkan pada Gambar 4.10 maka didapatkanlah hasil jumlah mol gas yang dikonsumsi pada saat laju pembentukan hidrat sama dengan jumlah mol gas yang ada pada kapasitas penyimpanan hidrat.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Karbon dioksida memiliki kemampuan menurunkan tekanan awal pada fase induksi pembentukan hidrat yang akan mempercepat waktu yang dibutuhkan untuk membentuk hidrat.
2. Variasi 50% volume gas karbon dioksida dalam gas propana butana merupakan variasi campuran yang membatasi kemampuan karbon dioksida sebagai penurun tekanan campurannya dengan gas propana butana untuk membentuk hidrat.
3. Semakin bertambahnya volume karbon dioksida dalam campurannya dengan gas propana butana akan menurunkan stabilitas hidrat.
4. Variasi 100% volume gas karbon dioksida dalam gas propana butana merupakan campuran yang memiliki kapasitas penyimpanan gas tertinggi.
5. Jumlah mol gas yang dikonsumsi pada saat laju pembentukan sama dengan nilai kapasitas penyimpanan hidrat

### 5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka penulis menyampaikan beberapa hal yang perlu dikembangkan untuk penelitian kedepannya, yaitu :

1. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih *comprehensive* mengenai struktur yang terbentuk pada karbon dioksida sebagai penurun tekanan.
2. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut tentang peningkatan kualitas hidrat dengan adanya campuran karbon dioksida.
3. Perlu adanya pengembangan dalam proses pengambilan data, agar dapat mengurangi *losses* yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmito, Sanggono, et al. 1991. *Hydrates of Carbon Dioxide and Methane Mixture*. *J. Chem. Eng.* 36,68-71.
- Adisasmito, Sanggono, et al. 1991. *Hydrates of Hydrocarbon Gases Containing Carbon Dioxide*. *J. Chem. Eng.* 37,343-349.
- Brady, E. James. 1998. *Kimia Univeristas Asas & Struktur*. Edisi Kelima. Binarupa Aksara. Jakarta
- Carroll, John. 2009. *Natural Gas Hydrate A Guide for Engineers. Second Edition. British Library, USA.*
- Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition*. New York: Mc Graw-Hill Book.
- Davidson, D. W. 1983. *Natural Gas Hydrates: Properties, Occurrence and Recovery*. Boston: Butterworths.
- Durham, W. B., Strern, L. A. dan Kirby, S. H. 2003. *Ductile Flow of Methane Hydrate*. *Can J. Phys.* 81: 373-380.
- Ganji, H., Manteghian, M., Zadeh, Sadaghiani, K., Omiddkhah, R.M. & Mofrad, Rahimi, H. 2007. *Effect of Different Surfactants on Methane Hydrate Formation Rate, Stability and Storage Capacity*. Iran .
- Hilyard, Joseph F. 2012. *The Oil & Gas Industry A Nontechnical Guide*. Pennwell, USA.
- Jeffrey, G. A. dan McMullan, R. K. 1967. *The Clathrate Hydrates*. *Prog. Inorg. Chem.* 8: 43-108.
- Khokhar, A. A., Gudmundsson, J. S. dan Sloan E. D. 1998. *Gas Storage in Structure H Hydrates*. *Fluid Phase Equilibria*. 150-151:383-392.
- Larson, R., Makogan, T, Knight, C. dan Sloan, E. D. 1996. *Growth and Imubition Phenomena of Single Hydrate Crystals*. *Proc. Second International Confer on Gas Hydrates*. 1: 558-562.
- Linga, Praveen., Kumar, Rajnish., Lee, Dong Ju., Ripmeester, John. & Englezos, Peter. 2010. *A New Apparatus to Enhace The Race of Gas Hydrate Formation: Application to Capture of Carbon Dioxide*. *International Jurnal of Greenhouse Gas Control*, Canada.
- Mokhatab, S., Poe, W. A., and Speight, J. G. 2006. *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. Amsterdam: Elsevier.



Ricaurte, Marvin et al. 2011. *CO<sub>2</sub> Removal From a CO<sub>2</sub> – CH<sub>4</sub> Gas Mixture by Hydrate Formation: Evaluation of Additives and Operating Conditions. Proceeding of 7<sup>th</sup> International Conference of Gas Hydrate*. Edinburgh. Scotland.

Sloan, E.D., Koh, Carolyn, A. 2008. *Clathrate Hydrate of Natural Gases. Third Edition. Taylor & Francis Group, LLC.*

Speight, J. G. 2007. *Natural Gas: A Basic Handbook*. Texas: Gulf Publishing Company.

Thakur, Kumar, Naresh., Rajput, Sanjeev. 2011. *Exploration of Gas Hydrate. Geophysical Techniques*. Springer, London New York.

Zemansky, Sears. 1982. *Fisika Untuk Universitas 1*. Binacipta, Bandung



**Lampiran 1. Data Hasil Laju Pembentukan Hidrat**

FORMATION RATE											
NO	TIME (Min)	0%		25%		50%		75%		100%	
		T (K)	P (MPa)								
1	0	297	0.3	297	0.3	297	0.3	297	0.3	297	0.3
2	15	285	0.282	285	0.264	285	0.267	285	0.229	285	0.138
3	30	283.5	0.282	283.5	0.256	283.5	0.254	283.5	0.213	283.5	0.135
4	45	282.2	0.282	282.2	0.247	282.2	0.249	282.2	0.203	282.2	0.132
5	60	281.6	0.281	280.2	0.241	280.2	0.243	280.2	0.201	281.6	0.132
6	75	281.7	0.28	280.2	0.237	280.2	0.238	280.2	0.192	281.7	0.132
7	90	281.2	0.279	280.2	0.232	280.2	0.233	280.2	0.187	281.2	0.132
8	105	280.7	0.279	280.2	0.231	280.2	0.23	280.2	0.184	280.2	0.132
9	120	280.6	0.278	280.2	0.23	280.2	0.228	280.2	0.181	280.2	0.13
10	135	280.6	0.278	280.2	0.228	280.2	0.227	280.2	0.179	280.2	0.128
11	150	280.6	0.277	280.2	0.225	280.2	0.227	280.2	0.178	280.2	0.128
12	165	280.6	0.277	280.2	0.223	280.2	0.226	280.2	0.177	280.2	0.126
13	180	280.6	0.276	280.2	0.222	280.2	0.225	280.2	0.176	280.2	0.125
14	195	280.4	0.275	280.2	0.22	280.2	0.225	280.2	0.175	280.2	0.123
15	210	280.4	0.274	280.2	0.219	280.2	0.224	280.2	0.174	280.2	0.122
16	225	280.4	0.273	280.2	0.215	280.1	0.224	280.2	0.173	280.2	0.122
17	240	280.4	0.272	280.2	0.214	280.1	0.224	280.1	0.17	280.2	0.122
18	255	280.4	0.271	280.2	0.213	280.1	0.224	280.1	0.169	280.2	0.121
19	270	280.2	0.271	280.2	0.212	280.1	0.224	280.1	0.168	280.2	0.121
20	285	280.2	0.263	280.1	0.211	280.1	0.224	280.1	0.168	280.2	0.121
21	300	280.2	0.258	280.1	0.21	280.1	0.224	280.1	0.167	280.1	0.121
22	315	280.2	0.25	280.1	0.209	280.1	0.224	280.1	0.166	280.1	0.121
23	330	280.2	0.247	280.1	0.208	280.1	0.224	280.1	0.165	280.1	0.121
24	345	280.2	0.242	280.1	0.207	280.1	0.224	280.1	0.164	280.1	0.121
25	360	280.2	0.238	280.1	0.206	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
26	375	280.2	0.233	280.1	0.205	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
27	390	280.2	0.23	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
28	405	280.1	0.225	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
29	420	280.1	0.221	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
30	435	280.1	0.216	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
31	450	280.1	0.212	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
32	465	280	0.207	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121



33	480	280	0.202	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
34	495	280	0.199	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
35	510	280	0.196	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
36	525	280	0.195	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
37	540	280	0.193	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
38	555	280	0.193	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
39	570	280	0.193	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121
40	585	280	0.193	280.1	0.204	280.1	0.224	280.1	0.163	280.1	0.121

Lampiran 2. Data Hasil Stabilitas Hidrat

STABILITY											
NO	TIME (Min)	0%		25%		50%		75%		100%	
		T (K)	P (MPa)								
1	0	274.1	0	274.1	0	274.1	0	274.1	0	274.1	0
2	15	274.1	0	274.1	0	274.1	0	274.1	0.001	274.1	0.003
3	30	274.1	0	274.1	0.001	274.1	0.001	274.1	0.002	274.2	0.004
4	45	274.1	0	274.1	0.001	274.1	0.001	274.2	0.003	274.2	0.005
5	60	274.1	0	274.1	0.002	274.1	0.002	274.2	0.004	274.2	0.005
6	75	274.1	0.001	274.1	0.002	274.1	0.003	274.2	0.004	274.2	0.005
7	90	274.1	0.001	274.1	0.003	274.2	0.004	274.2	0.004	274.2	0.006
8	105	274.1	0.002	274.1	0.004	274.2	0.005	274.2	0.004	274.2	0.006
9	120	274.1	0.002	274.1	0.004	274.2	0.005	274.2	0.005	274.2	0.007
10	135	274.1	0.002	274.2	0.005	274.2	0.006	274.2	0.006	274.2	0.007
11	150	274.1	0.003	274.2	0.006	274.2	0.006	274.2	0.006	274.2	0.008
12	165	274.1	0.003	274.2	0.006	274.2	0.007	274.2	0.007	274.2	0.009
13	180	274.1	0.003	274.2	0.006	274.2	0.007	274.2	0.007	274.3	0.009
14	195	274.1	0.004	274.2	0.007	274.2	0.008	274.2	0.008	274.3	0.009
15	210	274.1	0.004	274.2	0.007	274.2	0.009	274.3	0.008	274.3	0.01
16	225	274.1	0.005	274.2	0.007	274.2	0.01	274.3	0.009	274.3	0.014
17	240	274.1	0.005	274.2	0.008	274.3	0.01	274.3	0.01	274.3	0.016
18	255	274.1	0.005	274.2	0.008	274.3	0.01	274.3	0.012	274.3	0.018
19	270	274.2	0.005	274.2	0.009	274.3	0.011	274.3	0.014	274.3	0.019
20	285	274.2	0.005	274.3	0.01	274.3	0.011	274.3	0.017	274.4	0.02
21	300	274.2	0.005	274.3	0.01	274.3	0.011	274.3	0.017	274.4	0.021

**Lampiran 3. Data Hasil Kapasitas Penyimpanan Hidrat**

STORAGE CAPACITY									
0%		25%		50%		75%		100%	
TIME (Sec)	FLOW RATE (L/Sec)	TIME (Sec)	FLOW RATE (L/Sec)	TIME (Sec)	FLOW RATE (L/Sec)	TIME (Sec)	FLOW RATE (L/Sec)	TIME (Sec)	FLOW RATE (L/Sec)
22.2	0.84	31	0.81	24	0.81	48	0.81	21	0.78
P (MPa)		P (MPa)		P (MPa)		P (MPa)		P (MPa)	
0.097		0.088		0.075		0.126		0.129	